

10/8/2, 887

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2004年 3月 3日

願番号  
Application Number: 特願 2004-059742

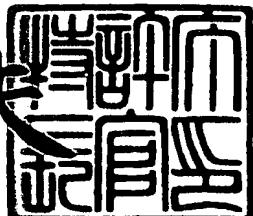
[T. 10/C]: [JP 2004-059742]

願人  
Applicant(s): TDK株式会社

2004年 4月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

出証番号 出証特 2004-3028090

BEST AVAILABLE COPY

**【書類名】** 特許願  
**【整理番号】** 99P07166  
**【あて先】** 特許庁長官殿  
**【国際特許分類】** G01R 27/06  
**【発明者】**  
**【住所又は居所】** 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内  
**【氏名】** 江畑 克史  
**【特許出願人】**  
**【識別番号】** 000003067  
**【氏名又は名称】** TDK株式会社  
**【代表者】** 澤部 肇  
**【代理人】**  
**【識別番号】** 100116182  
**【弁理士】**  
**【氏名又は名称】** 内藤 照雄  
**【選任した代理人】**  
**【識別番号】** 100099195  
**【弁理士】**  
**【氏名又は名称】** 宮越 典明  
**【先の出願に基づく優先権主張】**  
**【出願番号】** 特願2003- 96424  
**【出願日】** 平成15年 3月31日  
**【先の出願に基づく優先権主張】**  
**【出願番号】** 特願2003-283591  
**【出願日】** 平成15年 7月31日  
**【先の出願に基づく優先権主張】**  
**【出願番号】** 特願2003-283592  
**【出願日】** 平成15年 7月31日  
**【先の出願に基づく優先権主張】**  
**【出願番号】** 特願2003-283593  
**【出願日】** 平成15年 7月31日  
**【手数料の表示】**  
**【予納台帳番号】** 110804  
**【納付金額】** 21,000円  
**【提出物件の目録】**  
**【物件名】** 特許請求の範囲 1  
**【物件名】** 明細書 1  
**【物件名】** 図面 1  
**【物件名】** 要約書 1

**【書類名】特許請求の範囲****【請求項 1】**

モード発生器内に誘電体を封入する封入工程と、  
前記モード発生器に電磁波を入力する入力工程と、  
前記モード発生器から出力される電磁波を測定する測定工程と、  
測定された前記電磁波を基に複素誘電率を算出する算出工程と、を備えたことを特徴とする誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 2】**

前記誘電体は粉体状の誘電体であって、  
前記モード発生器内には、前記誘電体とともに気体が封入され、  
前記測定工程は、前記電磁波の S パラメータを測定し、  
前記算出工程は、前記 S パラメータを基に、前記モード発生器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出する工程と、  
算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出する工程と、を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 3】**

前記混合体の複素誘電率の算出が前記混合体の比誘電率の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項 2 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 4】**

前記誘電体の比誘電率が、対数混合則、リヒトネッカロータの式およびウイナーの式のいずれか一つの式を用いて算出されることを特徴とする請求項 3 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 5】**

前記混合体の複素誘電率の算出が前記混合体の誘電正接の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が前記誘電体の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 6】**

前記誘電体の誘電正接の算出が、混合則の式を用いて行われることを特徴とする請求項 5 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 7】**

前記誘電体は前記モード発生器の閉空間の断面と同一の断面を有する誘電体の成形物であって、

前記モード発生器内には、前記誘電体とともに気体が封入され、  
前記測定工程は、前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、

前記算出工程は、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 8】**

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項 7 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 9】**

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が前記誘電体の成形物の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項 7 に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 10】**

前記誘電体の成形物が、柱状であることを特徴とする請求項 7 ～ 9 の何れか 1 項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

**【請求項 11】**

前記モード発生器が、円筒型の共振器であることを特徴とする請求項2～10の何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項12】

前記モード発生器が、空洞共振器であることを特徴とする請求項2～10の何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項13】

前記電磁波の共振モードが、TE<sub>011</sub>モードであることを特徴とする請求項2～12の何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項14】

前記モード発生器内で前記誘電体を乾燥させる工程を備えたことを特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項15】

前記モード発生器を真空引きすることにより前記誘電体を乾燥させる工程を備えたことを特徴とする請求項14に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項16】

前記モード発生器は導波管であって、

前記導波管内には、前記誘電体とともに気体または液体が封入され、

前記算出工程は、測定された前記電磁波を基に、前記粉体と気体または液体とからなる混合体の比誘電率を算出し、

前記算出工程は、前記混合体の比誘電率と前記混合体における前記粉体の体積比率とから前記粉体の比誘電率を算出することを特徴とする請求項1に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項17】

前記誘電体の比誘電率が、対数混合則、リヒトネッカロータの式およびウイナーの式のいずれか一つの式を用いて算出されることを特徴とする請求項16に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項18】

前記導波管は、同軸型の導波管であることを特徴とする請求項16または17に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項19】

前記導波管は、方形型の導波管であることを特徴とする請求項16または17に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項20】

前記導波管は、円形型の導波管であることを特徴とする請求項16または17に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項21】

前記導波管は、前記気体または前記液体を保持するシール部を備えたことを特徴とする請求項16～20のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項22】

前記混合体における前記粉体の体積比率が0.32～0.42に設定されるとともに、前記電磁波の周波数が0.1GHz以上であることを特徴とする請求項16～21のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項23】

それぞれ粉体の種類が異なり且つ体積比率が同一である複数の混合体のそれぞれの比誘電率を測定する工程と、

前記複数の混合体の比誘電率の大きさを比較することにより、複数の誘電体の比誘電率を比較測定する工程と、を備えたことを特徴とする請求項17に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項24】

誘電体が内部に配置されるモード発生器と、

前記誘電体が配置された前記モード発生器に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して前記モード発生器から出力された前記電磁波を測定する電磁波生成解析器と、

測定された前記電磁波を基に、前記誘電体の複素誘電率を算出する演算処理装置と、を備えていることを特徴とする誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項25】**

前記モード発生器は、前記誘電体および気体を封入するための共振器であり、前記電磁波生成解析器は、前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、

前記演算処理装置は、前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅を基に、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする請求項24に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項26】**

前記共振器が、

貫通孔を備えた第一のピストンと、

前記第一のピストンと対向配置された第二のピストンと、

前記第一のピストン及び前記第二のピストンを覆うことにより閉空間を形成するシリンダと、

前記貫通孔に挿入された前記電磁波入力及び出力用の同軸ケーブルと、を備えていることを特徴とする請求項25に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項27】**

前記第一のピストン先端部または前記第二のピストンの先端部には、円環状の溝が形成されていることを特徴とする請求項26に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項28】**

前記第一のピストン先端部または前記第二のピストンの先端部には、円環状の導体板または誘電体板が取り付けられていることを特徴とする請求項26に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項29】**

前記演算処理装置が、前記誘電体が粉体状である場合、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする請求項25～28の何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項30】**

前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の比誘電率の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項29に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項31】**

前記誘電体の比誘電率が、対数混合則、リヒトネッカロータの式およびウイナーの式のいずれかの式を用いて算出されることを特徴とする請求項30に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項32】**

前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の誘電正接の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項29に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項33】**

前記誘電体の誘電正接が、混合則の式を用いて算出されることを特徴とする請求項32に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項34】**

前記演算処理装置が、前記柱状の誘電体が成形物である場合、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出する

こと特徴とする請求項25～28のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項35】

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項34に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項36】

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項34に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項37】

前記電磁波の共振モードが、TE<sub>011</sub>モードであることを特徴とする請求項25～36のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項38】

前記共振器内の閉空間を真空引きして、前記共振器内の前記誘電体を乾燥させる真空装置を備えたことを特徴とする請求項25～37のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項39】

前記共振器内に、前記閉空間の断面と同一の断面を有する柱状の誘電体の成形物および気体を封入することを特徴とする請求項34～36のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項40】

誘電体および気体を、前記共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入することを特徴とする請求項25～39のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

○

【請求項41】

前記モード生成器は、複素誘電率を測定すべき粉体と、気体または液体とからなる混合体を内部に充填する導波管であることを特徴とする請求項24に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】誘電体の複素誘電率の測定方法及び測定装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、誘電体の複素誘電率の測定方法及び測定装置に関するものであり、さらに詳細には、誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる誘電体の複素誘電率の測定方法及び測定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

各種無線装置の高性能化に伴い、数GHz以上の高周波帯域において高い性能を有する高周波用のセラミックス誘電体が求められている。一般に、セラミックス誘電体は、粉体状の誘電体を焼成した焼成品の形で回路部品として用いられている。また、粉体状の誘電体と樹脂などを種々の比率で混合した複合誘電体も、回路部品として用いられている。

【0003】

したがって、高周波用のセラミックス誘電体を開発するにあたっては、誘電体の誘電特性として、誘電体の複素誘電率を、粉体、焼成品等の状態に応じて測定することが必要不可欠になる。

【0004】

粉体状の誘電体の複素誘電率のうち比誘電率は、たとえば、一定の間隔を置いて、対向するように、一対の電極が配置された容器内に、比誘電率を測定すべき粉体状の誘電体を封入し、一対の電極間に、電圧を印加して、粉体状の誘電体と空気との混合体の比誘電率を測定し、測定された混合体の比誘電率から算出されていた（特許文献1参照）。

【0005】

一方、粉体状の誘電体を焼成等により成形した誘電体の成形物の複素誘電率の測定は、一般には、摂動法や空洞共振器法および誘電体共振器法を用いて行われている（非特許文献1, 2, 3参照）。摂動法や空洞共振器法および誘電体共振器法では、測定対象となる誘電体の成形物が、それぞれの測定方法で定められた所定の形状であることが必要である。例えば、摂動法では細長い棒状に、空洞共振器法ではシート状に、誘電体共振器法では円柱状に、測定対象となる誘電体が成形されている必要がある。

【0006】

【特許文献1】特開平6-138076号公報

【非特許文献1】飯島康、「Electronic Monthly」、新光商事株式会社、1998年7月

【非特許文献2】JIS R 1627:1996 「マイクロ波用ファインセラミックスの誘電特性の試験方法」、日本規格協会、1996年7月

【非特許文献3】JIS R 1641:2002 「ファインセラミックス基板のマイクロ波誘電特性の試験方法」、日本規格協会、2002年1月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来の粉体状の誘電体の比誘電率の測定方法においては、数GHz以上の高周波帯域において、粉体状の誘電体の比誘電率を測定する場合には、浮遊容量や浮遊リアクタンスの存在が無理できなくなり、その結果、測定装置全体が共振し、高い精度で、粉体状の誘電体の比誘電率を測定できないという問題があった。また、従来は、粉体状の誘電体の複素誘電率のうち誘電正接を、所望のように、測定する実用的な方法は知られていなかった。

【0008】

一方、誘電体の成形物については、誘電体の種類によっては、誘電体の成形物を円柱状に成形することは容易であるが、細長い棒状や板状に成形するのが困難であり、摂動法や空洞共振器法を用いて誘電体の複素誘電率を測定することができないという問題があった

。一方、円柱状の誘電体の成形物を測定することが可能な誘電体共振器法では、複素誘電率のうち比誘電率が低い誘電体、たとえば、樹脂などについては、誘電体の比誘電率および誘電正接を測定できないという問題があった。

【0009】

本発明は、上記事情を鑑み、数GHz以上の中周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体または誘電体の成形物の複素誘電率を測定可能な粉体状の誘電体または誘電体の成形物の複素誘電率の測定方法及び測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

(1) モード発生器内に誘電体を封入する封入工程と、

前記モード発生器に電磁波を入力する入力工程と、

前記モード発生器から出力される電磁波を測定する測定工程と、

測定された前記電磁波を基に複素誘電率を算出する算出工程と、を備えたことを特徴とする誘電体の複素誘電率の測定方法。

(2) 前記誘電体は粉体状の誘電体であって、

前記モード発生器内には、前記誘電体とともに気体が封入され、

前記測定工程は、前記電磁波の共振モードにおけるSパラメータを測定し、

前記算出工程は、前記Sパラメータを基に、前記モード発生器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出する工程と、

算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出する工程と、を備えたことを特徴とする(1)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(3) 前記混合体の複素誘電率の算出が前記混合体の比誘電率の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の比誘電率の算出であることを特徴とする(2)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(4) 前記誘電体の比誘電率が、対数混合則、リヒトネットカロータの式およびウイナーの式のいずれか一つの式を用いて算出されることを特徴とする(3)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(5) 前記混合体の複素誘電率の算出が前記混合体の誘電正接の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が前記誘電体の誘電正接の算出であることを特徴とする(2)～(4)のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(6) 前記誘電体の誘電正接の算出が、混合則の式を用いて行われることを特徴とする(5)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(7) 前記誘電体は前記モード発生器の閉空間の断面と同一の断面を有する誘電体の成形物であって、

前記モード発生器内には、前記誘電体とともに気体が封入され、

前記測定工程は、前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、

前記算出工程は、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出することを特徴とする(1)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(8) 前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の比誘電率の算出であることを特徴とする(7)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(9) 前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が前記誘電体の成形物の誘電正接の算出であることを特徴とする(7)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(10) 前記誘電体の成形物が、柱状であることを特徴とする(7)～(9)のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(11) 前記モード発生器が、円筒型の共振器であることを特徴とする(2)～(10)のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(12) 前記モード発生器が、空洞共振器であることを特徴とする(2)～(10)の

何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(13) 前記電磁波の共振モードが、TE<sub>011</sub>モードであることを特徴とする(2)～

(12)の何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(14) 前記モード発生器内で前記誘電体を乾燥させる工程を備えたことを特徴とする(1)～(13)のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(15) 前記モード発生器内を真空引きすることにより前記誘電体を乾燥させる工程を備えたことを特徴とする(14)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(16) 前記モード発生器は導波管であって、

前記導波管内には、前記誘電体とともに気体または液体が封入され、

前記算出工程は、測定された前記電磁波を基に、前記粉体と気体または液体とからなる混合体の比誘電率を算出し、

前記算出工程は、前記混合体の比誘電率と前記混合体における前記粉体の体積比率とから前記粉体の比誘電率を算出することを特徴とする(1)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(17) 前記誘電体の比誘電率が、対数混合則、リヒトネッカロータの式およびウイナーの式のいずれか一つの式を用いて算出されることを特徴とする(16)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(18) 前記導波管は、同軸型の導波管であることを特徴とする(16)または(17)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(19) 前記導波管は、方形型の導波管であることを特徴とする(16)または(17)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(20) 前記導波管は、円形型の導波管であることを特徴とする(16)または(17)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(21) 前記導波管は、前記気体または前記液体を保持するシール部を備えたことを特徴とする(16)～(20)のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(22) 前記混合体における前記粉体の体積比率が0.32～0.42に設定されるとともに、前記電磁波の周波数が0.1GHz以上であることを特徴とする(16)～(21)のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(23) それぞれ粉体の種類が異なり且つ体積比率が同一である複数の混合体のそれぞれの比誘電率を測定する工程と、

前記複数の混合体の比誘電率の大きさを比較することにより、複数の誘電体の比誘電率を比較測定する工程と、を備えたことを特徴とする(17)に記載の誘電体の複素誘電率の測定方法。

(24) 誘電体が内部に配置されるモード発生器と、

前記誘電体が配置された前記モード発生器に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して前記モード発生器から出力された前記電磁波を測定する電磁波生成解析器と、

測定された前記電磁波を基に、前記誘電体の複素誘電率を算出する演算処理装置と、を備えていることを特徴とする誘電体の複素誘電率の測定装置。

(25) 前記モード発生器は、前記誘電体および気体を封入するための共振器であり、前記電磁波生成解析器は、前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、

前記演算処理装置は、前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅を基に、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする(24)に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

(26) 前記共振器が、

貫通孔を備えた第一のピストンと、

前記第一のピストンと対向配置された第二のピストンと、

前記第一のピストン及び前記第二のピストンを覆うことにより閉空間を形成するシリンダと、

前記貫通孔に挿入された前記電磁波入力及び出力用の同軸ケーブルと、を備えていること

を特徴とする（25）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（27） 前記第一のピストン先端部または前記第二のピストンの先端部には、円環状の溝が形成されていることを特徴とする（26）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（28） 前記第一のピストン先端部または前記第二のピストンの先端部には、円環状の導体板または誘電体板が取り付けられていることを特徴とする（26）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（29） 前記演算処理装置が、前記誘電体が粉体状である場合、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする（25）～（28）の何れか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（30） 前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の比誘電率の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の比誘電率の算出であることを特徴とする（29）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（31） 前記誘電体の比誘電率が、対数混合則、リヒトネッカロータの式およびウイナーの式のいずれかの式を用いて算出されることを特徴とする（30）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（32） 前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の誘電正接の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の誘電正接の算出であることを特徴とする（29）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（33） 前記誘電体の誘電正接が、混合則の式を用いて算出されることを特徴とする（32）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（34） 前記演算処理装置が、前記柱状の誘電体が成形物である場合、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出することを特徴とする（25）～（28）のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（35） 前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の比誘電率の算出であることを特徴とする（34）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（36） 前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の誘電正接の算出であることを特徴とする（34）に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（37） 前記電磁波の共振モードが、TE<sub>011</sub>モードであることを特徴とする（25）～（36）のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（38） 前記共振器内の閉空間を真空引きして、前記共振器内の前記誘電体を乾燥させる真空装置を備えたことを特徴とする（25）～（37）のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

（39） 前記共振器内に、前記閉空間の断面と同一の断面を有する柱状の誘電体の成形物および気体を封入することを特徴とする（34）～（36）のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（40） 誘電体および気体を、前記共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入することを特徴とする（25）～（39）のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

（41） 前記モード生成器は、複素誘電率を測定すべき粉体と、気体または液体とからなる混合物を内部に充填する導波管であることを特徴とする（24）記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

### 【発明の効果】

#### 【0011】

本発明によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することができる誘電体の複素誘電率の測定方法及び測定装置を提供することが可能になる。

### 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0012】

以下、添付図面に基づいて、本発明の好ましい実施形態につき、詳細に説明を加える。

## 【0013】

まず、詳細な実施形態の説明に入る前に、本発明に係る誘電体の複素誘電率の測定方法の基本的な原理について大まかに説明する。なお、以下の説明において、"粉体状の誘電体の複素誘電率"は、誘電体の比誘電率および誘電体の誘電正接を意味するものとする。

## 【0014】

図1は、本発明に係る誘電体の複素誘電率の測定装置の概略構成を示すブロック図である。

## 【0015】

図1に示されるように、測定装置1は、モード発生器2、電磁波生成解析器3及び演算処理装置4によって構成されている。

## 【0016】

モード発生器2は、複素誘電率を測定すべき誘電体を気体とともに保持する容器である。このモード発生器2は、入力される電磁波に対し所定のモードの波のみを存在可能とするものであり、例えは共振器や導波管を用いることが可能である。ここで、モード発生器2内に封入される誘電体は、粉体状の誘電体、粉体の誘電体を焼成することにより成形された単一の素材からなる成形物、粉体状の誘電体と樹脂などを種々の比率で混合して成形した複数の素材からなる成形物等が考えられる。

## 【0017】

電磁波生成解析器3は、モード発生器2内に電磁波を入力するとともに、入力された電磁波に応答してモード発生器2から出力される電磁波を受信する。そして、電磁波生成解析器3は、この受信した電磁波を解析することによって、モード発生器2内の電磁波のSパラメータを算出し、そして算出されたSパラメータのデータを演算処理装置4に出力する。ここで、電磁波のSパラメータとは、電磁波の透過係数及び反射係数を指す。

## 【0018】

演算処理装置4は、電磁波生成解析器3から入力されたSパラメータを基に、誘電体の複素誘電率を算出する。

モード発生器2内に配置された誘電体が成形物ではなく、粉体状である場合には、演算処理装置4は、粉体状の誘電体の複素誘電率を直接算出することはできず、まず粉体状の誘電体と空気の混合物の複素誘電率を求め、そしてリヒトネッカロータの式やウイナーの式等を用いて粉体状の誘電体だけの複素誘電率を求める。

## 【0019】

このように、本発明に係る誘電体の複素誘電率の測定装置では、モード発生器2内に電磁波を入力し、出力される電磁波を基に解析を行うことによって、粉体状または成形物である誘電体の複素誘電率を測定するように構成されている。

## 【0020】

以下、より具体的な測定装置の構造を説明していくながら、誘電体の複素誘電率の測定方法について説明を行う。

## 【0021】

## (第1実施形態)

以下、本発明に係る誘電体の複素誘電率の測定装置及び測定方法の第1実施形態について、詳細に説明する。本実施形態は、図1に示すモード発生器として空洞共振器を用いた例である。

## 【0022】

図2は、本実施形態の誘電体の複素誘電率の測定方法を実施する測定装置のブロック図であり、図3は、空洞共振器の略斜視図であり、図4は、図3に示された空洞共振器のX-X線に沿った略断面図であり、誘電体として粉体状の誘電体が示されている。

## 【0023】

図2に示されるように、測定装置12は、空洞共振器14とネットワークアライザ1

6と演算処理装置18を備えており、順に図1のモード発生器2、電磁波生成解析器3及び演算処理装置4にそれぞれ対応している。すなわち、本実施形態の測定装置12は、モード発生器2として空洞共振器14を適用している。

【0024】

空洞共振器14は、複素誘電率を測定すべき誘電体を封入するための円筒状の金属製容器である。この空洞共振器14内に、電磁波が入力されると、空洞共振器14の形状に応じた共鳴により所定モードの電磁波が強く観測される。

【0025】

ネットワークアナライザ16は、空洞共振器14内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器14から出力された電磁波を受け取る。そして、空洞共振器14から受けた電磁波から、所定モードの電磁波の共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定して、測定結果を演算処理装置18に出力する。

【0026】

演算処理装置18は、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、誘電体の複素誘電率を算出するように構成されている。

【0027】

図3に示されるように、空洞共振器14は、シリンド114、第一のピストン120、同軸ケーブル122、ねじ134a, 134bおよび第二のピストン140を備えている。

【0028】

図4に示されるように、第一のピストン120は、第一の円板126と、第一の円板126の中心に一体に立設された第一の円柱体128を有している。第一の円板126および第一の円柱体128には、第1の円柱体128の軸方向に沿って2つの貫通孔130a, 130bが形成されている。また、第一の円柱体128の先端部の周縁部分には、円環状の溝132が形成されている。

【0029】

図4に示されるように、同軸ケーブル122は、第一の円板126および第一の円柱体128に形成された2つの貫通孔130a, 130b内に挿入され、同軸ケーブル122の先端部には、ループアンテナ124が取り付けられている。

【0030】

図4に示されるように、第二のピストン140は、第二の円板142と、第二の円板142の中心に一体に立設された第二の円柱体144を有している。ここで、第二の円柱体144の外径は、第一の円柱体128の外径と等しい。

【0031】

図4に示されるように、シリンド114の中央部には、第一のピストン120の第一の円柱体128の外径および第二のピストン140の第二の円柱体144の外径に略等しい内径を有する貫通孔116が形成されている。この貫通孔116内には、上方から第一のピストン120の第一の円柱体128が挿入され、下方から第二のピストン140の第二の円柱体144が挿入され、シリンド114の貫通孔116内には、第一のピストン120の第一の円柱体128と、第二のピストン140の第二の円柱体144とによって、閉空間109が形成されている。この閉空間109は、空洞共振器14の共鳴空洞となる領域であり、ここに測定すべき粉体状の誘電体または誘電体の成形物が気体とともに封入される。

【0032】

また、シリンド114には、シリンド114の軸方向に略直交する2つの貫通孔136a, 136bが形成されており、貫通孔136a内には、第一のピストン120の第一の円柱体128の位置を調整するねじ134aが挿入され、貫通孔136b内には、第二のピストン140の第二の円柱体144の位置を調整するねじ134bが挿入されている。

【0033】

以上のように構成された測定装置12においては、以下のようにして、粉体状の誘電体

の複素誘電率が測定される。

【0034】

(粉体状の誘電体の複素誘電率測定)

まず、主として図4を参照しながら、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定について説明する。

粉体状の誘電体の複素誘電率を測定するにあたっては、まず、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が、空洞共振器14内に形成された閉空間内に封入される。この状態で、ネットワークアナライザ16は、同軸ケーブル122およびループアンテナ124を介して、電磁波を空洞共振器14内に出力する。

【0035】

空洞共振器14は、電磁波の入力に応答して、所定のモードの電磁波を励起させる。この励起した電磁波は、ループアンテナ124によって受信される。ループアンテナ124によって受信された電磁波は、同軸ケーブル122を介して、ネットワークアナライザ16に入力される。

【0036】

ネットワークアナライザ16は、空洞共振器14から出力された電磁波を基に、空洞共振器14内での共振モードであるTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅Δf<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>が測定される。

【0037】

一般に、空洞共振器14に、ネットワークアナライザ16から、電磁波を入力したときは、TE<sub>011</sub>モードに対する縮退モードとして、TM<sub>111</sub>モードが存在する。このTM<sub>111</sub>モードの共振周波数は、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数と非常に近い周波数帯であるため測定された周波数スペクトル上では2つのピークが重なり合ってしまい、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数、挿入損失および電力半値幅を正確に測定できないという問題がある。

【0038】

しかし、本実施形態では、この問題を解決するために、第一のピストン120の第一の円柱体128の先端部に円環状の溝132が形成されており、また閉空間109内には空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が封入されている。これらにより、空洞共振器14内におけるTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数とTM<sub>111</sub>モードでの共振周波数が分離され、この共振周波数の分離によりTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数が正確に測定される。

【0039】

ネットワークアナライザ16は、測定したTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅Δf<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>を演算処理装置18に出力する。

【0040】

ネットワークアナライザ16がTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅Δf<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>を演算処理装置18に出力すると、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体110が、空洞共振器14の閉空間内に封入される。

【0041】

ここに、測定すべき粉体状の誘電体110は、予め、真空中に置き、または加熱等を行い、誘電体110に含まれる水分を除去することにより、乾燥されていることが好ましい。

一般に、粉体状の誘電体110の複素誘電率の測定においては、粉体状の誘電体110の表面に吸着した水分の影響により、粉体状の誘電体110の複素誘電率の測定に誤差が生じるという問題がある。しかし、上記構成においては、測定すべき粉体状の誘電体110の水分を予め除去した後に、粉体状の誘電体110の複素誘電率を測定するように構成しているので、粉体状の誘電体110の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0042】

粉体状の誘電体110が空洞共振器14の閉空間内に封入されると、図4に示されるように、空洞共振器14の閉空間内に、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体の層112と、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118が形成される。

【0043】

次いで、ネットワークアナライザ16は、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体110が封入された空洞共振器14に、同軸ケーブル122およびループアンテナ124を介して電磁波を出力する。

【0044】

ネットワークアナライザ16が空洞共振器14内に電磁波を入力すると、電磁波の入力に応答して、空洞共振器14から電磁波が output され、ループアンテナ124によって受信される。ループアンテナ124によって受信された電磁波は、同軸ケーブル122を介して、ネットワークアナライザ16に入力される。

【0045】

ネットワークアナライザ16は、入力された電磁波を解析して、共振モードのうちのTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅Δf<sub>3</sub>を求める。そして、ネットワークアナライザ16は、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅Δf<sub>3</sub>のデータを演算処理装置18に出力する。

【0046】

演算処理装置18は、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数f<sub>1</sub>、挿入損失IL<sub>1</sub>、電力半値幅Δf<sub>1</sub>および共振周波数f<sub>2</sub>を基に、以下の式(1)～式(3)を用いて、空洞共振器14の内壁の実効導電率σ、粉体状の誘電体110が空洞共振器14の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器14の無負荷Q値であるQ<sub>1</sub>および空洞共振器14の閉空間の見かけの直径Dを求める。

【0047】

【数1】

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{c}{\pi} \sqrt{\frac{j'^2_{n_2 m_2} \cdot l_1^2 - j'^2_{n_1 m_1} \cdot l_2^2}{f_2^2 \cdot l_1^2 - f_1^2 \cdot l_2^2}} \\ H &= \frac{c}{2} \sqrt{\frac{j'^2_{n_2 m_2} \cdot l_1^2 - j'^2_{n_1 m_1} \cdot l_2^2}{f_1^2 \cdot j'^2_{n_2 m_2} - f_2^2 \cdot j'^2_{n_1 m_1}}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

H：閉空間の見かけの高さ

D：閉空間の見かけの直径

j'<sub>n1m1</sub>：n1次の第一種ベッセル関数の微分をj'<sub>n1</sub>(x)としたときのj'<sub>n1</sub>(x)=0なる第m1番目の解

j'<sub>n2m2</sub>：n2次の第一種ベッセル関数の微分をj'<sub>n2</sub>(x)としたときのj'<sub>n2</sub>(x)=0なる第m2番目の解

c：真空中の光速度

【0048】

【数2】

$$Q_1 = \frac{f_1 / \Delta f_1}{1 - IL_1 / 20} \quad (2)$$

 $f_1$  : 共振周波数 $\Delta f_1$  : 電力半値幅IL<sub>1</sub> : 挿入損失

【0049】

【数3】

$$\sigma = \frac{4\pi f_1 Q_1^2 \left\{ J_{n_1 m_1}^4 + 2(J_{n_1 m_1} l_1 \pi)^2 \left( \frac{D}{2H} \right)^3 + \left( 1 - \frac{D}{H} \right) \left( \frac{n_1 l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^2}{\mu_0 c^2 (J_{n_1 m_1}^2 - n_1^2)^2 \left\{ J_{n_1 m_1}^2 + \left( \frac{l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^3} \quad (3)$$

 $\sigma$  : 空洞共振器の内壁の実効導電率 $\mu_0$  : 真空中の透磁率 $\pi$  : 円周率

【0050】

次いで、演算処理装置18は、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ 、挿入損失 $IL_3$ および既に求められた空洞共振器14の閉空間の見かけの直径 $D$ ならびに閉空間内に封入された気体の層112の厚さ $L_1$ および粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の厚さ $L_2$ を、式(4)および(5)に代入して、粉体状の誘電体110が空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値である $Q_3$ および粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の複素誘電率のうち比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を算出する。

【0051】

ここに、気体の層112の厚さ $L_1$ および粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の厚さ $L_2$ は、予め設定された値であって、測定者によって設定されたあと、演算処理装置18に入力される。

【0052】

【数4】

$$Q_3 = \frac{f_3 / \Delta f_3}{1 - 10^{-IL_3 / 20}} \quad (4)$$

 $f_3$ ：共振周波数 $\Delta f_3$ ：電力半値幅 $IL_3$ ：挿入損失

【0053】

【数5】

$$\left. \begin{array}{l} L_1 \frac{\tan X_1}{X_1} + L_2 \frac{\tan X_2}{X_2} = 0 \\ X_1 = \beta_1 L_1 \\ X_2 = \beta_2 L_2 \\ \beta_1 = \sqrt{\epsilon_{r1} k_0^2 - k_r^2} \\ \beta_2 = \sqrt{\epsilon_{r2} k_0^2 - k_r^2} \\ k_r = \frac{2j'_n}{D} \\ k_0 = \frac{2\pi f_3}{c} \end{array} \right\} \quad (5)$$

 $L_1$ ：気体の層112の厚さ $L_2$ ：粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の厚さ

D：閉空間の見かけの直径

 $\epsilon_{r1}$ ：気体の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ ：粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率 $j'_n$ ：n次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_n(x)$ としたときの $j'_n(x)=0$ なる第m番目の解

【0054】

次いで、演算処理装置18は、既に算出した実効導電率 $\sigma$ 、粉体状の誘電体110が空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値である $Q_3$ 、閉空間の見かけの直径D、閉空間内に封入された気体の層112の厚さ $L_1$ および粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の厚さ $L_2$ を、式(6)に代入して、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の複素誘電率のうち誘電正接を算出する。

【0055】

【数6】

$$\tan \delta = \frac{A}{Q_3} - R_s B$$

$$A = 1 + \frac{W_{e1}}{W_{e2}}$$

$$B = \frac{P_{cy1} + P_{cy2} + P_{end1} + P_{end2}}{2\omega W_{e2} R_s}$$

$$W_{e1} = \frac{1}{8} \varepsilon_{r1} \varepsilon_0 \omega^2 \mu_0^2 j_{01}'^2 J_0^2(j_{01}') \pi L_1 \left( 1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right)$$

$$W_{e2} = \frac{1}{8} \varepsilon_{r2} \varepsilon_0 \omega^2 \mu_0^2 j_{01}'^2 J_0^2(j_{01}') \pi L_2 \left( 1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$P_{cy1} = \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}') D \pi L_1 \left( 1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right)$$

$$P_{cy2} = \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}') D \pi L_2 \left( 1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$P_{end1} = \frac{1}{2} R_s \left( \frac{X_1}{L_1} \right)^2 j_{01}'^2 \pi J_0^2(j_{01}')$$

$$P_{end2} = \frac{1}{2} R_s \left( \frac{X_2}{L_2} \right)^2 j_{01}'^2 \pi J_0^2(j_{01}') \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f_3 \mu_0}{\sigma}}$$

$$\omega = 2\pi f_3$$

(6)

Q<sub>3</sub>：粉体状の誘電体110が空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値

W<sub>e1</sub>：気体の層112の電界の蓄積エネルギー

W<sub>e2</sub>：粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の電界の蓄積エネルギー

P<sub>cy1</sub>：シリンダ114の気体の層112と接する部分における導体損

P<sub>cy2</sub>：シリンダ114の粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118と接する部分における導体損

P<sub>end1</sub>：第一のピストン120の気体の層112と接する部分における導体損

P<sub>end2</sub>：第二のピストン140の粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層1

18と接する部分における導体損

$\omega$ ：角周波数

$R_s$ ：空洞共振器の内壁の表面抵抗

$j'_{01}$ ：0次の第一種ベッセル関数の微分を  $j'_{00}(x)$  としたときの  $j'_{00}(x)=0$  なる第一番目の解

**【0056】**

以上により、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の複素誘電率として比誘電率  $\epsilon_{r2}$  および誘電正接が算出される。

**【0057】**

さらに、演算処理装置18は、こうして算出した粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  を対数混合則、リヒトネットカロータの式またはウイナーの式等の、粉体と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  から粉体状の比誘電率  $\epsilon_r$  を算出する式に適用して、粉体状の誘電体110の比誘電率  $\epsilon_r$  を算出する。

**【0058】**

周知のように、対数混合則は、次式によって表される。

$$\log \epsilon_r = v_1 \log \epsilon_{r1} + v_2 \log \epsilon_{r2}$$

**【0059】**

また、リヒトネットカロータの式は、次式によって表される。

$$\epsilon_{r^k} = v_1 \epsilon_{r1}^k + v_2 \epsilon_{r2}^k$$

**【0060】**

一方、ウイナーの式は、次式によって表される。

$$1/(\epsilon_r + u) = v_1/(\epsilon_{r1} + u) + v_2/(\epsilon_{r2} + u)$$

$\epsilon_r$ ：粉体状の誘電体の比誘電率

$\epsilon_{r1}$ ：気体の比誘電率

$\epsilon_{r2}$ ：粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率

$v_1$ ：気体の体積比率

$v_2$ ：粉体状の誘電体の体積比率

$k$ ：フィッティングパラメータ ( $-1 \leq k \leq 1$ )

$u$ ：フィッティングパラメータ ( $0 \leq u$ )

**【0061】**

これらの式によって、粉体状の誘電体の比誘電率  $\epsilon_r$  が算出される。

**【0062】**

たとえば、気体として空気を用い、粉体状の誘電体110と空気とが混合した混合体の層118の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  から、粉体状の誘電体110の比誘電率  $\epsilon_r$  を算出する場合には、空気の比誘電率  $\epsilon_{r1}$  は1.0である。また、空気の体積比率  $v_1$  および粉体状の誘電体の体積比率  $v_2$  は、混合体の層118に封入される気体の体積および粉体状の誘電体110の体積により決定されるから、粉体状の誘電体110と空気とが混合した混合体の層118の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  が求められれば、粉体状の誘電体110の比誘電率  $\epsilon_r$  を算出することができる。

**【0063】**

さらに、演算処理装置18は、こうして算出した粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の誘電正接を、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の誘電正接を粉体と気体とが混合した混合体の層118の誘電正接から、粉体状の誘電正接を算出する式である混合則の式に適用して、粉体状の誘電体110の誘電正接を算出する。

**【0064】**

誘電正接を算出のための混合則は、次式によって表される。

$$\tan \delta = v_1 \tan \delta_1 + v_2 \tan \delta_2$$

$\tan \delta$  : 粉体状の誘電体の誘電正接

$\tan \delta_1$  : 気体の誘電正接

$\tan \delta_2$  : 粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の誘電正接

$v_1$  : 気体の体積比率

$v_2$  : 粉体状の誘電体の体積比率

【0065】

これらの式によって、粉体状の誘電体の誘電正接が算出される。

【0066】

たとえば、気体として空気を用い、粉体状の誘電体110と空気とが混合した混合体の層118の誘電正接から、粉体状の誘電体110の誘電正接を算出する場合には、空気の誘電正接 $\tan \delta_1$ は0と見なすことができ、また、粉体状の誘電体の体積比率 $v_2$ は、混合体の層118に封入される気体の体積および粉体状の誘電体110の体積により決定されるから、粉体状の誘電体110と空気とが混合した混合体の層118の誘電正接 $\tan \delta_2$ が求められれば、粉体状の誘電体110の誘電正接を算出することができる。

【0067】

以上のようにして、粉体状の誘電体110の比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接が求められ、結果として粉体状の誘電体110の複素誘電率が求められる。

【0068】

本実施形態においては、数GHz以上の高周波帯域での誘電体の複素誘電率のうち比誘電率を測定する場合に、空洞共振器14内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、ネットワークアナライザ16から空洞共振器14内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器14からネットワークアナライザ16に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半值幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定して、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を算出し、さらに、算出した粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、対数混合則、リヒトネットカローラの式またはウイナーの式などの、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ から粉体状の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出する式に適用して、粉体状の誘電体110の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出するように構成されている。

【0069】

したがって、上記構成によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体110の複素誘電率のうち比誘電率を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0070】

また、上記構成においては、数GHz以上の高周波帯域での誘電体の複素誘電率のうち誘電正接を測定する場合に、空洞共振器14内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、ネットワークアナライザ16から空洞共振器14内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器14からネットワークアナライザ16に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半值幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定して、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の誘電正接を算出し、さらに、粉体状の誘電体110と気体とが混合した混合体の層118の誘電正接から粉体状の誘電正接を算出する混合則の式に適用して、粉体状の誘電体110の誘電正接を算出するように構成されている。

【0071】

したがって、本実施形態によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体110の複素誘電率のうち誘電正接を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0072】

(誘電体の成形物の複素誘電率測定)

次に、主として図5を参照しながら、誘電体の成形物の複素誘電率の測定について説明する。ここでは、円柱状に誘電体を成形して、複素誘電率測定を行う場合について説明する。以下の説明では、粉体状の誘電体の複素誘電率測定と同様の箇所については、簡易な説明を用いて省略するとともに、粉体状の誘電体の場合と類似した微妙に定義が異なる文

字については、再定義して同一の文字を使うものとする。

【0073】

誘電体の成形物の複素誘電率を測定するにあたっては、粉体状の誘電体を測定する場合と同様に、まず、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が、空洞共振器14内に形成された閉空間109内に封入され、この状態でネットワークアナライザ16から閉空間109内に電磁波を入力し、閉空間109内に入力された電磁波の出力を解析して、TE<sub>01</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅△f<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>を測定する。

【0074】

そして、複素誘電率を測定すべき円柱状の誘電体の成形物110Aが空洞共振器14の閉空間109内に封入される。ここで、円柱状の誘電体の成形物110Aの断面の径は、貫通孔116の内径と等しくなるように成形されている。

【0075】

その結果、図5に示されるように、空洞共振器14の閉空間内に、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体の層112が形成される。

【0076】

次いで、複素誘電率を測定すべき円柱状の誘電体の成形物110Aが封入された空洞共振器14内に、粉体状の成形物110の場合と同様に、電磁波がネットワークアナライザ16から、同軸ケーブル122およびループアンテナ124を介して閉空間109内に出力され、閉空間109からループアンテナ124を介して電磁波を受信して、ネットワークアナライザ16に出力される。

【0077】

そして、ネットワークアナライザ16は、閉空間109から出力された電磁波からTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅△f<sub>3</sub>を算出する。

【0078】

そして、演算処理装置18は、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数f<sub>1</sub>、挿入損失IL<sub>1</sub>、電力半値幅△f<sub>1</sub>および共振周波数f<sub>2</sub>が、先述の式(1)～式(3)に代入され、空洞共振器14の内壁の実効導電率σ、円柱状の誘電体の成形物110Aが空洞共振器14の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器14の無負荷Q値であるQ<sub>1</sub>および空洞共振器14の閉空間の見かけの直径Dが求められる。

【0079】

次いで、演算処理装置18は、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数f<sub>3</sub>、電力半値幅△f<sub>3</sub>、挿入損失IL<sub>3</sub>および既に求められた空洞共振器14の閉空間の見かけの直径Dならびに閉空間内に封入された気体の層112の厚さL<sub>1</sub>および円柱状の誘電体の成形物110Aの厚さL<sub>2</sub>を、式(4)および(5)に代入して、円柱状の誘電体の成形物110Aが空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値であるQ<sub>3</sub>および円柱状の誘電体の成形物110Aの複素誘電率のうち比誘電率ε<sub>r2</sub>を算出する。

【0080】

ここに、気体の層112の厚さL<sub>1</sub>および円柱状の誘電体の成形物110Aの厚さL<sub>2</sub>は、予め設定された値であって、測定者によって設定されたあと、演算処理装置18に入力される。

【0081】

次いで、演算処理装置18は、既に算出した実効導電率σ、円柱状の誘電体の成形物110Aが空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値であるQ<sub>3</sub>、閉空間の見かけの直径D、閉空間内に封入された気体の層112の厚さL<sub>1</sub>および円柱状の誘電体の成形物110Aの厚さL<sub>2</sub>を、式(6)に代入して、円柱状の誘電体の成形物110Aの複素誘電率のうち誘電正接を算出する。

【0082】

以上のようにして、円柱状の誘電体の成形物110Aの比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接が求められ、結果として円柱状の誘電体の成形物110Aの複素誘電率が求められる。粉体状の誘電体110と異なり、誘電体が成形物である場合には、式(1)～(6)を用いることにより、直接誘電体の複素誘電率を求めることができる。

#### 【0083】

以上説明したように、本実施形態においては、空洞共振器14内に、円柱状の誘電体の成形物110Aおよび気体を封入し、ネットワークアナライザ16から空洞共振器14内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器14からネットワークアナライザ16に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定して、円柱状の誘電体の成形物110Aの複素誘電率を算出するように構成されている。

#### 【0084】

したがって、本実施形態によれば、円柱状の誘電体の成形物110Aの複素誘電率を、高い精度で、測定することが可能となる。

#### 【0085】

なお、図2～図5に示す構成に対しては、以下のような変形例が考えられる。

#### 【0086】

図6は、空洞共振器14の閉空間109を真空にするための真空装置を含む粉体状の誘電体110または誘電体の成形物110Aの複素誘電率の測定装置12Aを表す図である。

#### 【0087】

本変形例では、空洞共振器14が真空装置146によって覆われている。この真空装置146は、真空槽148と真空ポンプ150を備えている。真空槽148は、真空槽148に接続されている真空ポンプ150を用いることによって、真空の状態となる。真空槽148の内部に、空洞共振器14が設けられおり、真空槽148の内部を真空状態にすることによって、結果として空洞共振器14の閉空間も真空の状態となる。

#### 【0088】

本変形例では、空洞共振器114内に粉体状の誘電体110または誘電体の成形物110Aを封入してから、真空装置146を用いて空洞共振器14の内部を真空状態にすることにより、粉体状の誘電体110または誘電体の成形物110Aに含まれる水分を除去することが可能となる。粉体状の誘電体110または誘電体の成形物110Aに含まれる水分を除去した状態で、空洞共振器14に封入した粉体状の誘電体110または誘電体の成形物110Aの複素誘電率を測定することにより、粉体状の誘電体110または誘電体の成形物110Aの複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

#### 【0089】

##### (第2実施形態)

以下、本発明に係る誘電体の複素誘電率の測定装置及び測定方法の第2実施形態について、詳細に説明する。本実施形態は、図1に示すモード発生器として導波管を用いた例である。

#### 【0090】

図7は、本実施形態における測定装置の構成を示すブロック図であり、図8～図10は、それぞれ導波管を示す図である。

#### 【0091】

図7に示すように、誘電特性測定装置200は、導波装置201と、測定器202とを備えている。

#### 【0092】

導波装置201は、図1に示すモード発生器として適用されるものであり、図8～図10に示すようないわゆる電磁波を伝搬する導波管210, 220, 230によって構成されている。

図8に示す導波管210は、いわゆる同軸型の導波管であり、内部が空洞となっている

円筒型の外部導体211と、その外部導体211の内部に同軸配置されている円柱状の中心導体212とから構成されている。本実施形態では、この、測定対象となる粉体と気体または液体との混合体213が、外部導体211と中心導体212との間の空隙214に充填される。

#### 【0093】

また、図9に示す導波管220は、いわゆる方形型の導波管であり、内部に断面視矩形状の空隙222が形成された導体221によって構成されている。そして、測定対象となる粉体と、気体または液体との混合体223はその空隙222に入れられることにより、導波管220の内部に充填される。

#### 【0094】

また、図10に示す導波管230は、いわゆる円形型の導波管であり、内部に断面視円形の空隙232が形成された円筒型の外部導体231によって構成されている。そして、測定対象となる粉体と、液体または気体とからなる混合体233は空隙232に入れられることにより、円形導波管型導波路230の内部に充填される。

#### 【0095】

なお、導波管210, 220, 230は、空気以外の気体または液体を使用して、その気体または液体と、粉体とからなる混合体213の比誘電率を測定する場合は、その気体または液体がそれぞれ空隙214, 222, 232から流れ出さないように、導波管210, 220, 230にその気体または液体を保持するためのシール部（不図示）が設けられる。

#### 【0096】

再度、図7に戻って、説明を行う。

測定器202は、ネットワークアナライザ203と、演算処理装置204とを含んでいる。この測定器202は、導波装置201を励振させると共に、導波装置201の出力信号を解析する。

#### 【0097】

ネットワークアナライザ203は、導波路で構成されている導波装置201に入力する電磁波を発生させ、導波装置201から供給されたアナログデータをデジタル処理する。

また、演算処理装置204は、ネットワークアナライザ203から供給されるデジタルデータを取り込み、誘電特性測定および出力のための処理を行う。

#### 【0098】

次に、誘電特性測定装置200を用いた誘電特性測定方法を説明する。ネットワークアナライザ203から導波装置201に高周波電磁波を入射して、導波装置201を励振させる。そして、導波装置201の透過波および反射波をネットワークアナライザ203に供給する。ネットワークアナライザ203からの出力データを演算処理装置204に取り込み、導波装置201内に充填された混合体の比誘電率を計算する。

#### 【0099】

そして、演算処理装置204は、このようにして得られた粉体と気体または液体との複合体の比誘電率 $\epsilon$ を、対数混合則、リヒトネットカロータの式またはウイナーの式のような混合材料の比誘電率を算出する式に適用して、粉体の比誘電率を算出する。ここで、これらの式について説明する。

#### 【0100】

対数混合則は次に示す式によって表される。

$$\log \epsilon = v_1 \log \epsilon_1 + v_2 \log \epsilon_2$$

#### 【0101】

また、リヒトネットカロータの式は次のように表される。

$$\epsilon^k = v_1 \epsilon_1^k + v_2 \epsilon_2^k$$

#### 【0102】

また、ウイナーの式は次のように表される。

$$1/\epsilon = v_1/\epsilon_1 + v_2/\epsilon_2$$

$\epsilon$  : 混合体の比誘電率

$\epsilon_1$  : 気体または液体の比誘電率

$\epsilon_2$  : 粉体の比誘電率

$v_1$  : 気体または液体の体積比率

$v_2$  : 粉体の体積比率

$k$  : フィッティングパラメータ ( $-1 \leq k \leq 1$ )

$u$  : フィッティングパラメータ ( $0 \leq u$ )

### 【0103】

これらの式が用いられることにより、粉体の比誘電率  $\epsilon_2$  が計算される。例えば気体として空気を使用して、粉体と空気との混合体の比誘電率  $\epsilon$  から粉体の比誘電率  $\epsilon_2$  を求める場合、これらの式において空気の比誘電率  $\epsilon_1$  は「1.0」と既知であり、また、空気の体積比率  $v_1$  および粉体の体積比率  $v_2$  は、それぞれ導波路の空間に入れる粉体の量により決まる。従って、粉体と空気の混合体の比誘電率  $\epsilon$  がわかれば、粉体の比誘電率  $\epsilon_2$  を求めることができる。

### 【実施例】

#### 【0104】

以下、本発明の効果をより明瞭なものとするため、実施例を掲げる。

##### (実施例 1)

#### 【0105】

密度が  $3.99 \text{ g/cm}^3$  で、平均粒径が  $9.8 \mu\text{m}$  の粉体状の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の試料 A、密度が  $3.99 \text{ g/cm}^3$  で、平均粒径が  $17.8 \mu\text{m}$  の粉体状の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の試料 B および密度が  $3.99 \text{ g/cm}^3$  で、平均粒径が  $134.7 \mu\text{m}$  の粉体状の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の試料 C を用意した。

#### 【0106】

測定装置として、図 2 に示された測定装置 12 を用いて、空洞共振器 14 に形成された閉空間内に、体積比率が 0.39 となるように、試料 A を封入し、真空中で試料 A と空気とが混合した混合体の層 18 の比誘電率および誘電正接を測定した。

#### 【0107】

まず、空洞共振器 14 に形成された直径  $16 \text{ mm}$  の貫通孔 116 の下方から、第二のピストン 40 を挿入し、位置決めして、ねじ 134b により固定する。さらに、貫通孔 116 の上方から、第一のピストン 120 を挿入し、空気の層 12 の厚さ  $L_1$  が  $12 \text{ mm}$  となるように、第一のピストン 120 を位置決めして、第一のピストン 120 を、ねじ 134a により固定し、空洞共振器 14 内に、空気を封入した。

#### 【0108】

次いで、ネットワークアナライザ 16 から、周波数が  $\text{GHz}$  以上の電磁波を、同軸ケーブル 122 およびループアンテナ 124 を介して、空洞共振器 14 内に出力した。

#### 【0109】

さらに、電磁波の入力に応答して、空洞共振器 14 から出力された電磁波を、ループアンテナ 124 によって受信し、同軸ケーブル 122 を介して、ネットワークアナライザ 16 に入力した。

#### 【0110】

次いで、同軸ケーブル 122 を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ 16 によって、共振モードのうち、 $\text{TE}_{011}$  モードでの共振周波数  $f_1$ 、共振周波数  $f_1$  における挿入損失  $IL_1$  および電力半値幅  $\Delta f_1$  ならびに  $\text{TE}_{012}$  モードでの共振周波数  $f_2$  を測定した。

#### 【0111】

こうして、ネットワークアナライザ 16 によって測定された  $\text{TE}_{011}$  モードでの共振周波数  $f_1$ 、共振周波数  $f_1$  における挿入損失  $IL_1$  および電力半値幅  $\Delta f_1$  ならびに  $\text{TE}_{012}$

モードでの共振周波数  $f_2$  を、ネットワークアナライザ16から演算処理装置18に出力した。

【0112】

TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数  $f_1$ 、共振周波数  $f_1$ における挿入損失  $I_{L1}$  および電力半値幅  $\Delta f_1$  ならびに TE<sub>012</sub>モードでの共振周波数  $f_2$  を、ネットワークアナライザ16から、演算処理装置18に出力したのち、貫通孔116から、一旦、第一のピストン120を外して、貫通孔116内に、3.13gの試料Aを投入した。次いで、第一のピストン120とは異なり、ピストンを構成する円柱体の先端部が平坦であるピストンを用いて、試料Aと気体とが混合した混合体の層18の厚さ  $L_2$  が10mmになるように加圧し、試料Aの表面をならしてから、再度、第一のピストン120を貫通孔116の上方から挿入し、空気の層12の厚さ  $L_1$  が2mmとなるように、第一のピストン120の位置を調整し、第一のピストン120を、ねじ134aによって固定した。

【0113】

さらに、試料Aが封入された空洞共振器14に、ネットワークアナライザ16から、電磁波を、同軸ケーブル122およびループアンテナ124を介して、出力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器14から出力された電磁波を、ループアンテナ124によって受信し、同軸ケーブル122を介して、ネットワークアナライザ16に入力した。

【0114】

同軸ケーブル122を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ16によって、共振モードのうち、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数  $f_3$ 、共振周波数  $f_3$ における挿入損失  $I_{L3}$  および電力半値幅  $\Delta f_3$  を測定した。

【0115】

こうして、ネットワークアナライザ16によって測定されたTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数  $f_3$ 、共振周波数  $f_3$ における挿入損失  $I_{L3}$  および電力半値幅  $\Delta f_3$  を、ネットワークアナライザ16から演算処理装置18に出力した。

【0116】

次いで、演算処理装置18により、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数  $f_1$ 、挿入損失  $I_{L1}$ 、電力半値幅  $\Delta f_1$  および共振周波数  $f_2$  を、式(1)～式(3)に代入し、空洞共振器14の内壁の実効導電率  $\sigma$ 、試料Aが空洞共振器14の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器14の無負荷Q値である  $Q_1$  および空洞共振器14の閉空間の見かけの直径  $D$  を求めた。

【0117】

さらに、演算処理装置18により、ネットワークアナライザ16から入力された共振周波数  $f_3$ 、電力半値幅  $\Delta f_3$ 、挿入損失  $I_{L3}$  および既に求めた空洞共振器14の閉空間の見かけの直径  $D$  ならびに閉空間内に封入された空気の層12の厚さ  $L_1$  および試料Aと空気とが混合した混合体の層18の厚さ  $L_2$  を、式(4)および(5)に代入して、試料Aが空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値である  $Q_3$  および試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  を求めた。

【0118】

次いで、演算処理装置18により、既に算出した実効導電率  $\sigma$ 、試料Aが空洞共振器14に封入された状態における空洞共振器14の無負荷Q値である  $Q_3$ 、閉空間のみかけの直径  $D$ 、閉空間内に封入された気体の層12の厚さ  $L_1$  および試料Aと気体とが混合した混合体の層18の厚さ  $L_2$  を、式(6)に代入して、試料Aと気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を求めた。

【0119】

こうして、体積比率が0.39である試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  および誘電正接が得られた。

【0120】

次いで、空洞共振器14に形成された閉空間内に封入する試料Aの質量を変化させて、試料Aの体積比率を、0.54まで、徐々に変化させて、試料Aの体積比率が0.39の

ときと同様に、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接を求めた。

【0121】

さらに、演算処理装置18により、異なる体積比率で、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ から、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ を、以下のようにして、求めた。

【0122】

まず、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ の測定精度を向上させるために、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ の測定誤差を考慮して、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、対数混合則、リヒトネットカーロータの式およびウイナーの式にフィッティングし、横軸を、試料Aの体積比率、縦軸を、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ として、グラフを作成した。

【0123】

図11および図12は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、対数混合則にフィッティングして、得られたグラフであり、図12は、図11に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.38～0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

【0124】

図13および図14は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、リヒトネットカーロータの式にフィッティングして、得られたグラフであり、図14は、図13に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.38～0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

【0125】

図15および図16は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、ウイナーの式にフィッティングして、得られたグラフであり、図16は、図15に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.38～0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

【0126】

図11、図13および図15において、試料Aの体積比率が1.0であるということは、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、空気が存在せず、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、試料Aのみが存在していることを意味しているから、試料Aの体積比率が1.0のときの比誘電率の値が、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ に対応し、したがって、図11、図13および図15に示された曲線から、試料Aの体積比率が1.0のときの比誘電率の値を読み取って、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ を求めた。

【0127】

こうして、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ が得られた。

【0128】

さらに、演算処理装置18により、異なる体積比率で、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の誘電正接から、試料Aの誘電正接を、以下のようにして、求めた。

【0129】

試料Aの誘電正接の測定精度を向上させるために、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の誘電正接の測定誤差を考慮して、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の誘電正接を、混合則の式に代入し、試料Aの体積比率と、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の誘電正接との関係を、原点を通る直線によって近似し、図17に示されるグラフを作成した。

【0130】

図17において、試料Aの体積比率が1.0であるということは、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、空気が存在せず、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、試料Aのみが存在していることを意味しているから、試料Aの体積比率が1.0のときの誘電正接の値が、試料Aの誘電正接に対応し、したがって、図17に示された曲線

から、試料Aの体積比率が1.0のときの誘電正接の値を読み取って、試料Aの誘電正接を求めた。

【0131】

次いで、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を測定した場合と同様にして、試料Bの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を求めた。

【0132】

すなわち、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を測定した場合と同様にして、空洞共振器14に形成された閉空間内に封入する試料Bの質量を変化させることによって、試料Bの体積比率を0.39～0.54の範囲で変化させて、試料Bと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接を求め、試料Bの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を求めた。

【0133】

さらに、試料Aおよび試料Bの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を測定した場合と同様にして、試料Cの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を求めた。

【0134】

試料A、B、Cの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接の測定結果は、表1に示されている。

【0135】

【表1】

記号	対数混合則	リヒトネットカーロータの式	ウイーナの式	誘電正接
A	13.11	9.14	12.34	0.0044
B	12.72	9.63	12.77	0.0031
C	12.33	8.27	10.58	0.0017

表1に示されるように、試料A、B、Cの比誘電率として、8.3～13.1の範囲内の値が得られ、本発明によれば、GHzオーダ以上の周波数における粉体状の誘電体の比誘電率が測定可能であることが判明した。

【0136】

また、本発明によれば、GHz以上周波数における粉体状の誘電正接が測定可能であることも明らかになった。

【0137】

(実施例2)

比誘電率および誘電正接の測定対象として、8.05mmの厚さと16mmの直径を有するテトラフルオロエチレン円柱を用意し、テトラフルオロエチレン円柱を空洞共振器14内に封入する前の空気の層の厚さ $L_1$ を10.05mmとし、実施例1と同様にして、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率および誘電正接を測定した。

【0138】

すなわち、空洞共振器14内に、テトラフルオロエチレン円柱および気体を封入し、ネットワークアナライザ16から空洞共振器14内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器14からネットワークアナライザ16に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定することにより、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接を求めた。

【0139】

(比較例)

実施例2との比較例として、1.04mmの厚さを有するシート状のテトラフルオロエチレンを用意した。JIS規格で定められている空洞共振器法を用いて、周波数11.4GHzおよび17.9GHzにおけるシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率およ

び誘電正接を求めた。

【0140】

実施例2および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率および誘電正接ならびにシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率および誘電正接を測定した結果は、表2に示されている。

【0141】

【表2】

	周波数 [GHz]	比誘電率	誘電正接
実施例1	20.6	2.05	0.00021
比較例	11.4	2.06	0.00021
比較例	18.0	2.06	0.00019

また、実施例2および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率およびシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率を測定した結果は、図18に示されている。

【0142】

さらに、実施例2および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の誘電正接およびシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接を測定した結果は、図19に示されている。

【0143】

実施例2のテトラフルオロエチレン円柱の比誘電率と、比較例のシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率は、2.05前後のほぼ等しい値となった。

【0144】

また、実施例2の円柱状のテトラフルオロエチレンの誘電正接と、比較例のシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接は、0.0002前後のほぼ等しい値となった。

【0145】

(実施例3)

実施例3では、図7に示す導波管210を導波装置201として適用した。また、本実施例では、気体として空気を使用した。従って、図7の混合体213は、測定すべき粉体と空気とからなる。また、本実施例においては、導波管210の内部に充填された状態での混合体213の厚さは約20mmであった。

【0146】

以上の導波管210を用いて測定する試料として、本実施形態においては、3種類のセラミックス材料( $\text{Al}_2\text{O}_3$ セラミックス、 $\text{Ba}(\text{MgTa})\text{O}_3$ セラミックス、 $\text{TiO}_2$ セラミックス)の粉体を用意した。そして、各粉体と空気との混合体213を作製し、前述した誘電特性測定装置200を用いて各粉体と空気との混合体213の比誘電率を測定した。また、後述する実施例4の導波管220を用いて混合体の比誘電率を測定した結果と比較するために、 $\text{Ba}(\text{Nd}, \text{Bi})_2\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ セラミックスについても測定した。この比較した結果については実施例4について説明する際に説明する。この実施例3においては、周波数が5GHzの電磁波を各混合体213に入射させ、その応答により比誘電率を測定した。混合体213における粉体の体積比率を0.32～0.42の間で変化させ、各混合体213の比誘電率を測定した。

【0147】

このようにして得られた粉体と空気との混合体213の比誘電率 $\epsilon$ が、前述した対数混合則、リヒトネットカローラの式またはウイナーの式に適用される。図20～図22に、実施例3の導波管210を用いて測定された各混合体213の比誘電率の実測値と、その実

測定に計算式を適用した結果を示す。これらの図に示されている曲線は、混合体213の比誘電率の各実測値を最小二乗法により各式にフィッティングさせて求めたものである。図20は、各混合体213の比誘電率の実測値と、その実測値に対数混合則を適用した結果を示す図である。図21は、各混合体213の比誘電率の実測値と、その実測値にリヒトネットカロータの式を適用した結果を示す図である。図22は、各混合体213の比誘電率の実測値と、その実測値にウイナーの式を適用した結果を示す図である。

#### 【0148】

そして、この測定結果を用いることにより粉体自体の比誘電率を類推することができる。図23～図25に、粉体の比誘電率を類推するためのグラフを示す。この粉体の比誘電率を類推するために、前述した対数混合則などの式を使用し、混合体13の比誘電率の各実測値を最小二乗法により各式にフィッティングさせて、粉体の比誘電率を類推するための曲線を算出した。そして、粉体の体積比率が「1.0」のときの空気と粉体との混合体の比誘電率 $\epsilon$ を算出することにより、空気と粉体の混合体における空気の存在を無視して、粉体自体の比誘電率 $\epsilon_2$ を類推することができる。

#### 【0149】

図23は、各混合体213の比誘電率の実測値を最小二乗法により混合対数則にフィッティングさせた結果を示す図である。図24は、各混合体213の比誘電率の実測値を最小二乗法によりリヒトネットカロータの式にフィッティングさせた結果を示す図である。図25は、各混合体213の比誘電率の実測値を最小二乗法によりウイナーの式にフィッティングさせた結果を示す図である。これらの図において、粉体の体積比率が「1.0」の比誘電率の値を読み取ることにより粉体自体の比誘電率を類推することができる。そして、図23～図25から求めた各粉体の比誘電率を図26～図28にまとめて示す。

#### 【0150】

図26～図28は、図23～図25で示されている各式を適用して得られた各粉体の比誘電率と、焼結品の比誘電率とを比較した表である。図26は、実測値に対数混合則を適用して得られた各粉体の比誘電率を示す表である。図27は、実測値にリヒトネットカロータの式を適用して得られた各粉体の比誘電率を示す表である。図28は、実測値にウイナーの式を適用して得られた各粉体の比誘電率を示す表である。

#### 【0151】

図26に示すように対数混合則を適用した結果、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「11」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「14.1」となった。また、 $\text{Ba}(\text{MgTa})\text{O}_3$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「24」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「33.9」となった。また、 $\text{TiO}_2$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「104」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「185.8」となった。

#### 【0152】

また、図27に示すようにリヒトネットカロータの式を適用した結果、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「11」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「15.7」となった。また、 $\text{Ba}(\text{MgTa})\text{O}_3$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「24」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「19.4」となった。また、 $\text{TiO}_2$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「104」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「28.2」となった。

#### 【0153】

また、図28に示すようにウイナーの式を適用した結果、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「11」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「8.75」となった。また、 $\text{Ba}(\text{MgTa})\text{O}_3$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「24」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「42.7」となった。また、 $\text{TiO}_2$ セラミックスの焼結品の比誘電率は「104」であるのに対し、本発明の測定方法によって得られた結果は「152.3」となった。

#### 【0154】

以上の結果より、この実施例3においては、導波管210を用いることにより、5GHzの周波数で粉体と空気とからなる混合体の比誘電率を測定することができ、さらに、その結果から粉体自体の比誘電率を推測することができた。

#### 【0155】

次に、図29に、混合体213の比誘電率の周波数依存性を調べた結果を示す。試料としてBa(Nd, Bi)2Ti5O14を使用し、粉体と空気とからなる混合体213における粉体の密度を変えた場合の個々の密度に対する混合体213の比誘電率を測定した。そして、周波数領域を0.1～6GHzまで変化させて混合体13の比誘電率 $\epsilon$ を測定した。図29に示すように、この0.1～6GHzまでの周波数領域においては、混合体213の比誘電率は周波数に依存しないことがわかった。従って、実施例3における導波管210を用いることにより、5GHz以外の周波数であっても、0.1～6GHzの間においては、5GHzで測定した場合と同様の結果を得ることができた。

#### 【0156】

次に、図20および図30を参照しつつ、異なる材料の粉体の比誘電率の大きさを相対比較する。まず、図20において混合体213における粉体の体積比率が、例えば「0.38」となる点の比誘電率を読み取る。その読み取った値を図30に示す。その結果、Al2O3セラミックスの読み取った値は「2.7」となり、Ba(MgTa)O3セラミックスの読み取った値は「3.8」となり、TiO2セラミックスの読み取った値は「7.3」となった。比誘電率の大小関係は、小さい順に、Al2O3セラミックス、Ba(MgTa)O3セラミックス、TiO2セラミックスという順になる。それに対して焼結品の比誘電率の大小関係も、小さい順に、Al2O3セラミックス、Ba(MgTa)O3セラミックス、TiO2セラミックスという順になる。

#### 【0157】

従って、以上のようにして得られた各粉体の比誘電率の大小関係は、焼結品の比誘電率の大小関係と一致するため、異なる材料の粉体の比誘電率の大小関係の相対比較を上記の方法によって行うことができる。

#### 【0158】

尚、実施例3においては、対数混合則を適用して得られた結果を用いて相対比較したが、本発明においてはそれに限られない。リヒトネットカロータの式またはウイナーの式を適用して得られた結果を用いて相対比較しても、同様の結果が得られる。また、粉体の体積比率を「0.38」としたが、この値に限らず他の体積比率を用いて比較しても同様の結果が得られる。

#### 【0159】

##### (実施例4)

実施例4では、図8に示す導波管220を導波装置201として適用した。尚、実施例4においても、気体として空気を使用した。従って、混合体223は、測定すべき粉体と空気とからなる。

#### 【0160】

この実施例4においても、前述した実施例3と同様に、粉体として3種類のセラミックス材料(Al2O3セラミックス、Ba(MgTa)O3セラミックス、TiO2セラミックス)の粉体を用いて、各粉体と空気との混合体23を作製した。そして、前述した誘電特性測定装置200を用いて各粉体と空気との混合体223の比誘電率を測定した。また、前述した実施例3の導波管210の測定結果と比較するために、Ba(Nd, Bi)2Ti5O14セラミックスについても測定した。この実施例4においては、周波数が20GHzの電磁波を各混合体223に入射させ、その応答により比誘電率を測定した。そして、実施例3と同様に、混合体223における粉体の体積比率を変化させ、各混合体223の比誘電率を測定した。

#### 【0161】

このようにして得られた粉体と空気との混合体223の比誘電率 $\epsilon$ が、前述した対数混合則、リヒトネットカロータの式またはウイナーの式に適用される。そして、この実施例4

で得られた比誘電率と、実施例3で得られた比誘電率とを比較した。その比較した結果を図31に示す。図31は、この実施例4の導波管220を用いて得られた混合体223の比誘電率と、実施例3の導波管210を用いて得られた混合体213の比誘電率とを比較したグラフを表している。

#### 【0162】

図31において、破線は実施例4で使用された導波管220によって測定された混合体223の比誘電率を表している。一方、実線は実施例3で使用された導波管210によって測定された混合体213の比誘電率を表している。図31に示すように、導波管220を用いて測定された各混合体の比誘電率は、導波管210を用いて測定された各混合体の比誘電率にほぼ一致しているのがわかる。従って、この実施例4の導波管220を用いることにより、導波管210と比較して、さらに高周波領域においても粉体の比誘電率を測定することができる。また、実施例3と同様に、この実施例4においても、異なる粉体の比誘電率の大小を相対比較することができた。

#### 【0163】

なお、導波管230を用いることにより、実施例3、4と同様に、混合体233の比誘電率 $\epsilon$ を測定し、述した対数混合則、リヒトネットカロータの式またはウイナーの式をその実測値に適用することにより、各粉体の比誘電率を類推することができる。この導波管230によって得られた混合体の比誘電率を用いても、実施例3と同様に、異なる粉体の比誘電率の大小を比較することができる。

#### 【0164】

本発明は、以上の構成に限定されることはなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

#### 【0165】

たとえば、上記構成においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE<sub>011</sub>モードが用いられているが、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE<sub>011</sub>モードを用いることは必ずしも必要でなく、TE<sub>011</sub>以外のTEモードまたはTMモードを用いることもできる。

#### 【0166】

また、上記構成においては、共振器として空洞共振器が用いられているが、共振器として空洞共振器を用いることは必ずしも必要でなく、同軸共振器や、誘電体共振器を用いることもできる。

#### 【0167】

さらに、上記構成においては、空洞共振器が円筒状に形成されているが、空洞共振器が円筒状に形成されていることは必ずしも必要でない。

#### 【0168】

また、上記構成においては、誘電体に混合する気体として、空気が用いられているが、誘電体に、空気を混合することは必ずしも必要でなく、アルゴンガスや窒素ガスを誘電体に混合させてもよい。

#### 【0169】

さらに、上記構成においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されていることは、必ずしも必要でなく、空気に対して、空洞共振器内の閉空間内に、低損失の誘電体を充填してもよい。

#### 【0170】

また、前記図2に示されている構成においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に空気を封入することは必ずしも必要でなく、空洞共振器の閉空間に誘電体を封入してから、空洞共振器の閉空間内を真空としてもよい。

#### 【0171】

さらに、上記構成においては、第一の円柱体28および第一の円柱体44を固定するた

めに、ねじ134a、134bが用いられているが、第一の円柱体28および第二の円柱体44を固定するために、ねじ134、134bを用いることは必ずしも必要ではなく、シリンダと第一の円板26の間に板を挿入することによって、第一の円柱体28を固定し、またはシリンダと第二の円板42の間に板を挿入することによって、第二の円柱体44を固定するようにしてもよい。

#### 【0172】

また、上記構成においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE<sub>011</sub>モードの共振周波数とTM<sub>111</sub>モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部の形状はとくに限定されるものではなく、第一の円柱体28の先端部に、円環状の導体板または誘電体板を取り付けてもよく、溝32が第一の円柱体28の先端部に形成されていることは必ずしも必要でない。

#### 【0173】

さらに、上記構成においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE<sub>011</sub>モードの共振周波数とTM<sub>111</sub>モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部に円環状の溝32が形成されていることは必ずしも必要でなく、第二の円柱体44の先端部に溝32が形成されていてもよく、また、第二の円柱体44の先端部に、円環状の導体板または誘電体板が取り付けられていてもよい。

#### 【0174】

また、上記構成においては、ループアンテナ124は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入された、同軸ケーブル122の先端部に取り付けられているが、ループアンテナ124は、第一の円板26および第一の円柱体28側に2本取り付けられていることは、必ずしも必要がない。すなわち、ループアンテナ124は、第二の円板42および第二の円柱体44に2つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル122の先端部に取り付けられてもよく、また、第一の円板26および第一の円柱体28ならびに第二の円板42および第二の円柱体44に1つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル122の先端部に取り付けられてもよい。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0175】

【図1】本発明に係る誘電体の複素誘電率の測定装置の概略を示すブロック図である。

【図2】本発明に係る第1実施形態の誘電体の複素誘電率の測定装置のブロック図である。

【図3】空洞共振器の略斜視図である。

【図4】図2に示された空洞共振器のX-X線に沿った略断面図であり、粉体状の誘電体が配置された図である。

【図5】図2に示された空洞共振器のX-X線に沿った略断面図であり、誘電体の成形物が配置された図である。

【図6】空洞共振器の閉空間を真空にするための真空装置を含む粉体状の誘電体の複素誘電率の測定装置を表した図である。

【図7】本発明に係る第2実施形態の誘電特性測定装置100の構成を示すブロック図である。

【図8】導波管の斜視図である。

【図9】導波管の斜視図である。

【図10】導波管の斜視図である。

【図11】試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、対数混合則にフィッティングして、得られたグラフである。

【図12】図11の一部拡大図である。

【図13】試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、リヒトネットカローラの式にフィッティングして、得られたグラフで

ある。

【図14】図13の一部拡大図である。

【図15】試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率  $\epsilon_{r2}$  を、最小二乗法により、ウイナーの式にフィッティングして、得られたグラフである。

【図16】図15の一部拡大図である。

【図17】試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の誘電正接を、混合則の式に代入し、試料Aの体積比率と、試料Aと空気とが混合した混合体の誘電正接との関係を、原点を通る直線によって近似したグラフである。

【図18】テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率およびシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率を測定した結果を示すグラフである。

【図19】テトラフルオロエチレン円柱の誘電正接およびシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接を測定した結果を示すグラフである。

【図20】複合体の比誘電率の実測値と、その実測値に対数混合則を適用した結果を示すグラフである。

【図21】複合体の比誘電率の実測値と、その実測値にリヒトネッカロータの式を適用した結果を示すグラフである。

【図22】複合体の比誘電率の実測値と、その実測値にウイナーの式を適用した結果を示すグラフである。

【図23】対数混合則を適用して粉体の比誘電率を算出するために用いるグラフである。

【図24】リヒトネッカロータの式を適用して粉体の比誘電率を算出するために用いるグラフである。

【図25】ウイナーの式を適用して粉体の比誘電率を算出するために用いるグラフである。

【図26】実測値に対数混合則を適用して得られた各粉体の比誘電率を示す表である。

【図27】実測値にリヒトネッカロータの式を適用して得られた各粉体の比誘電率を示す表である。

【図28】実測値にウイナーの式を適用して得られた各粉体の比誘電率を示す表である。

【図29】導波管を用いて、混合体の比誘電率の周波数依存性について測定した結果である。

【図30】異なる材料の粉体の比誘電率の大きさを相対比較した表である。

【図31】2種類の導波管を利用して得られた粉体の比誘電率とを比較したグラフである。

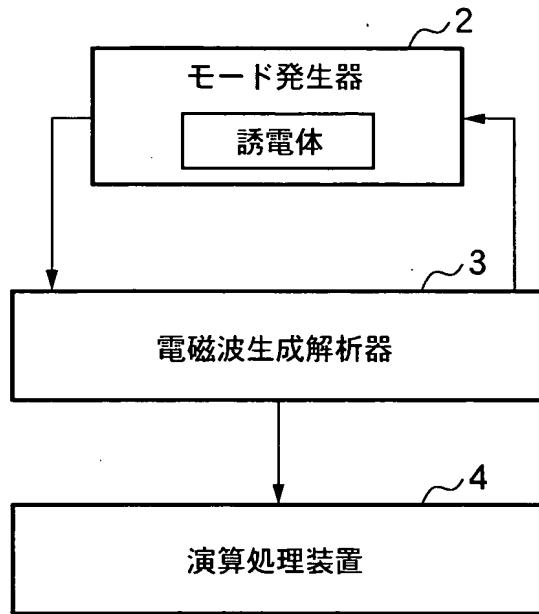
#### 【符号の説明】

##### 【0176】

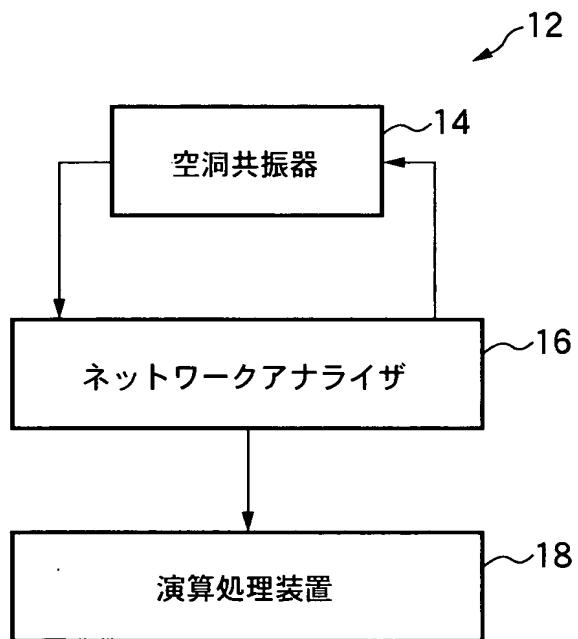
- 1 2 測定装置
- 1 4 空洞共振器
- 1 6 ネットワークアナライザ
- 1 8 演算処理装置
- 1 1 0 誘電体
- 1 1 2 空気の層
- 1 1 4 シリンダ
- 1 1 6 貫通孔
- 1 1 8 混合体の層
- 1 2 0 第一のピストン
- 1 2 2 同軸ケーブル
- 1 2 4 ループアンテナ
- 1 2 6 第一の円板

- 128 第一の円柱体
- 130a 貫通孔
- 130b 貫通孔
- 132 溝
- 134a ねじ
- 134b ねじ
- 136a 貫通孔
- 136b 貫通孔
- 140 第二のピストン
- 142 第二の円板
- 144 第二の円柱体
- 146 真空装置
- 148 真空ポンプ
- 150 真空槽

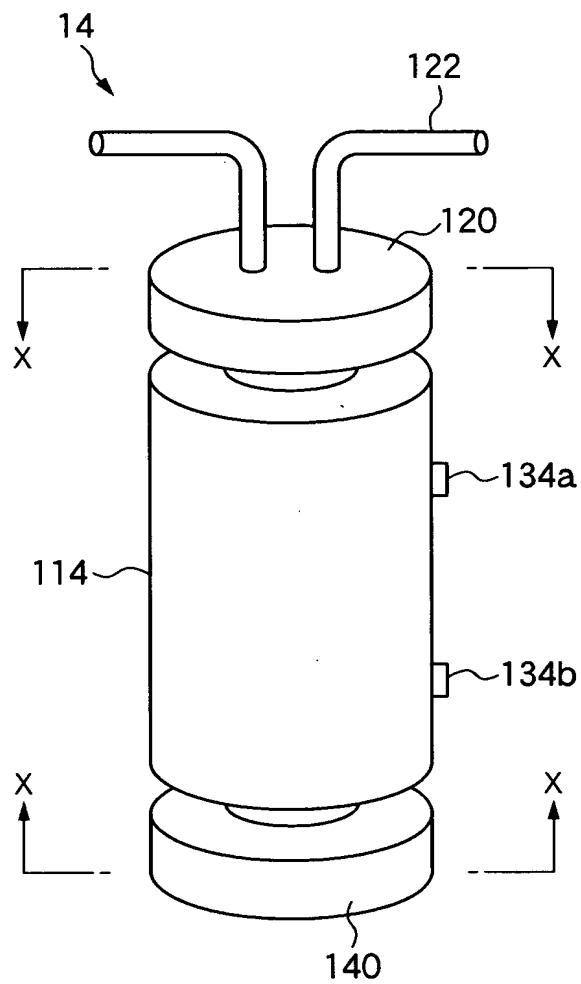
【書類名】 図面  
【図 1】



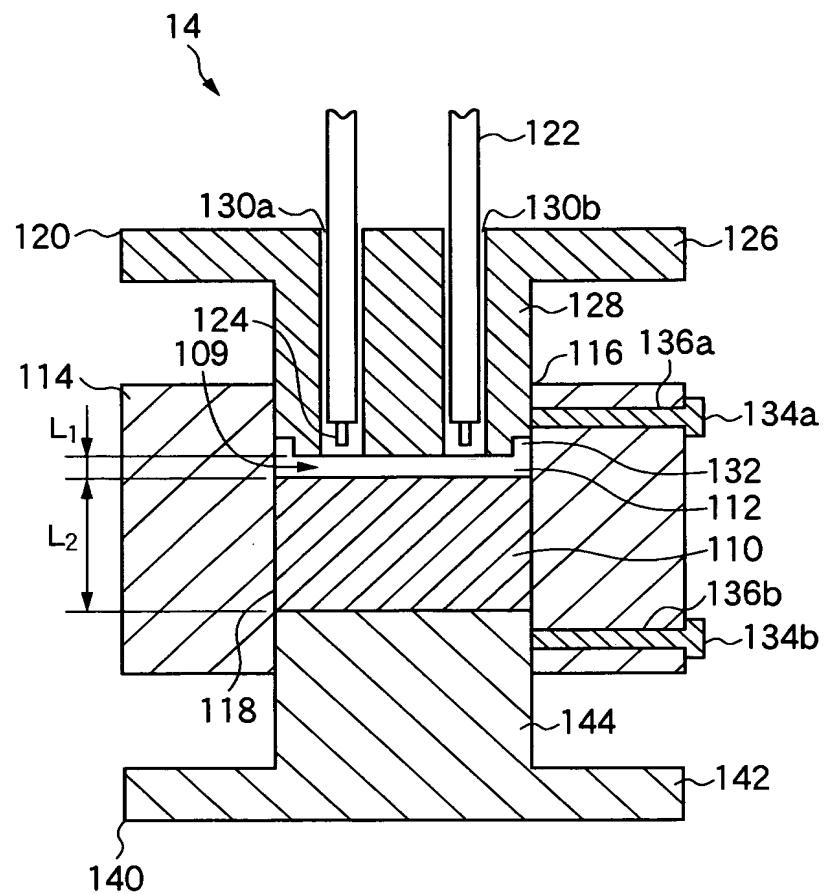
【図 2】



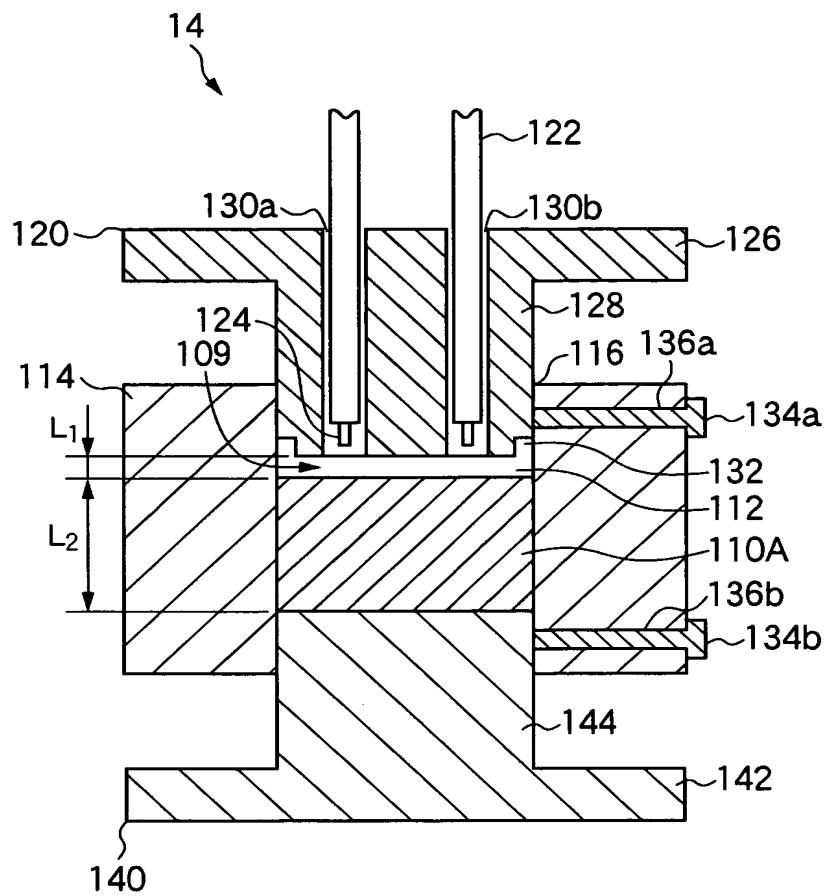
【図3】



【図4】

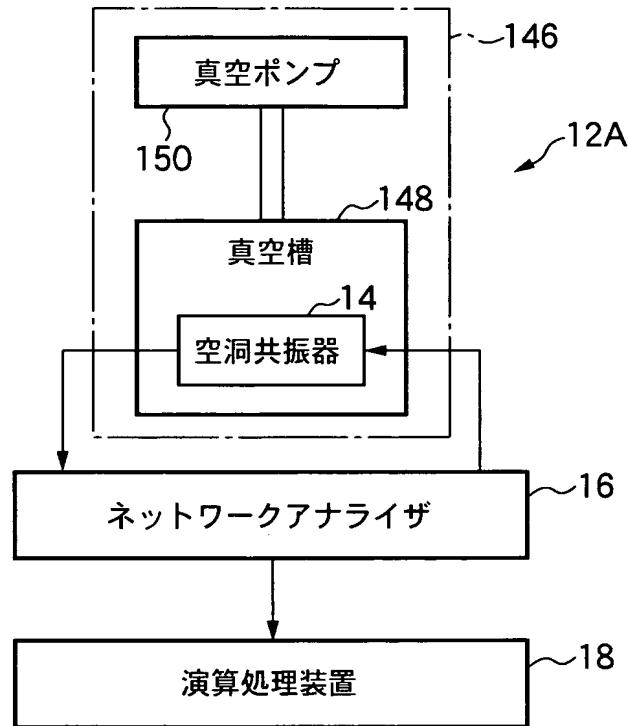


【図5】

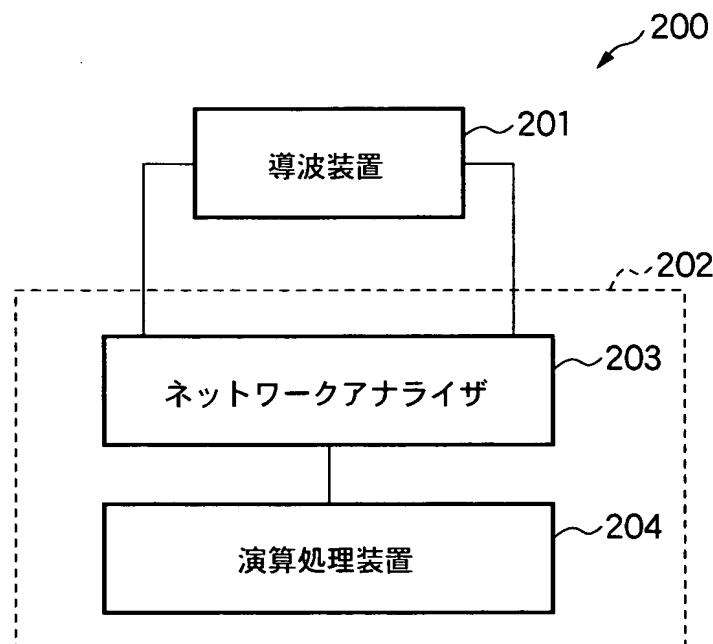


BEST AVAILABLE COPY

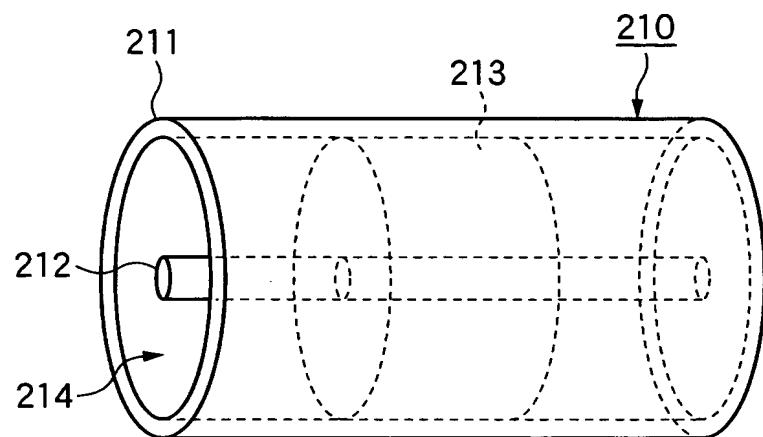
【図 6】



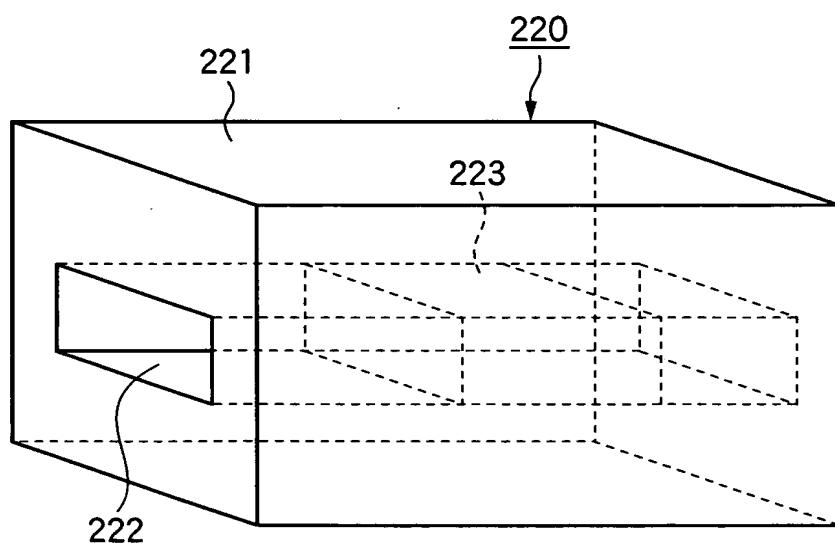
【図 7】



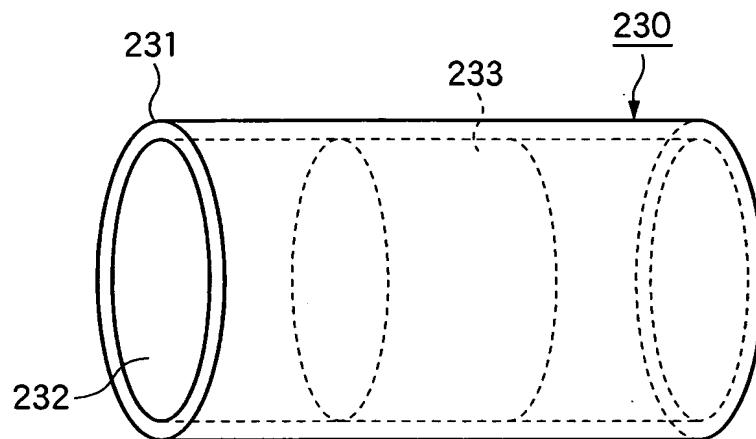
【図8】



【図9】

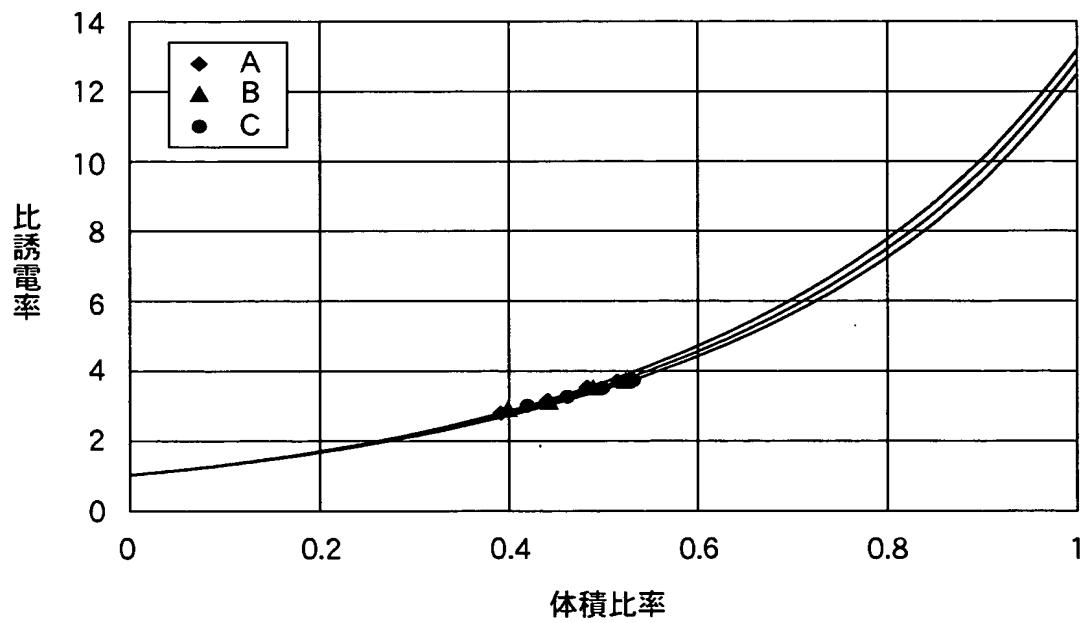


【図10】

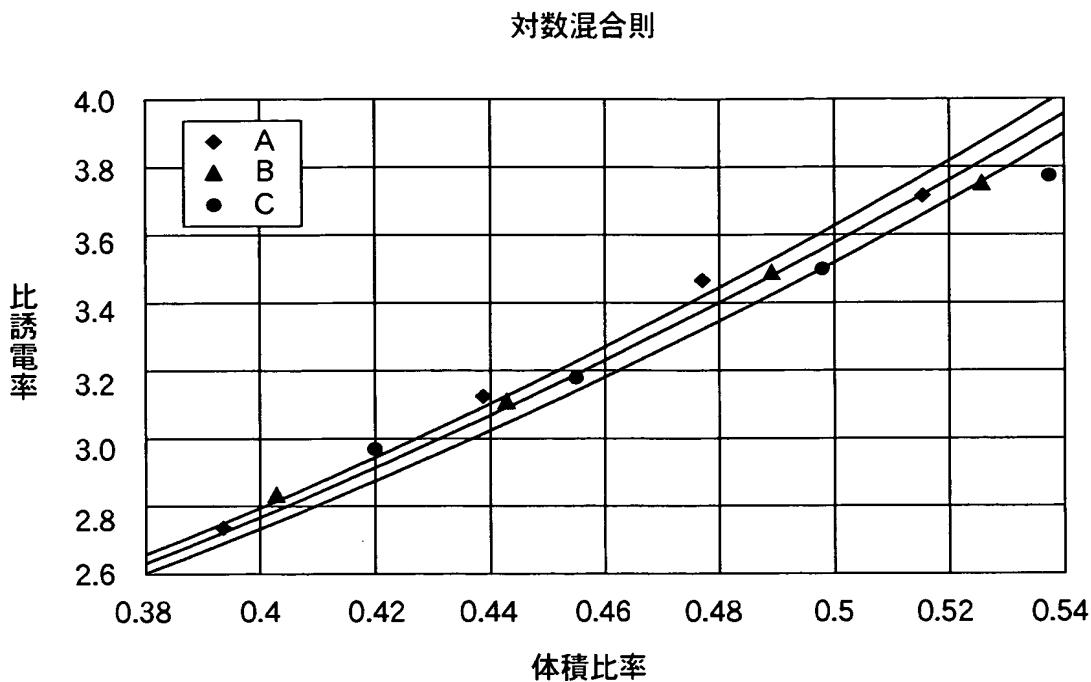


【図11】

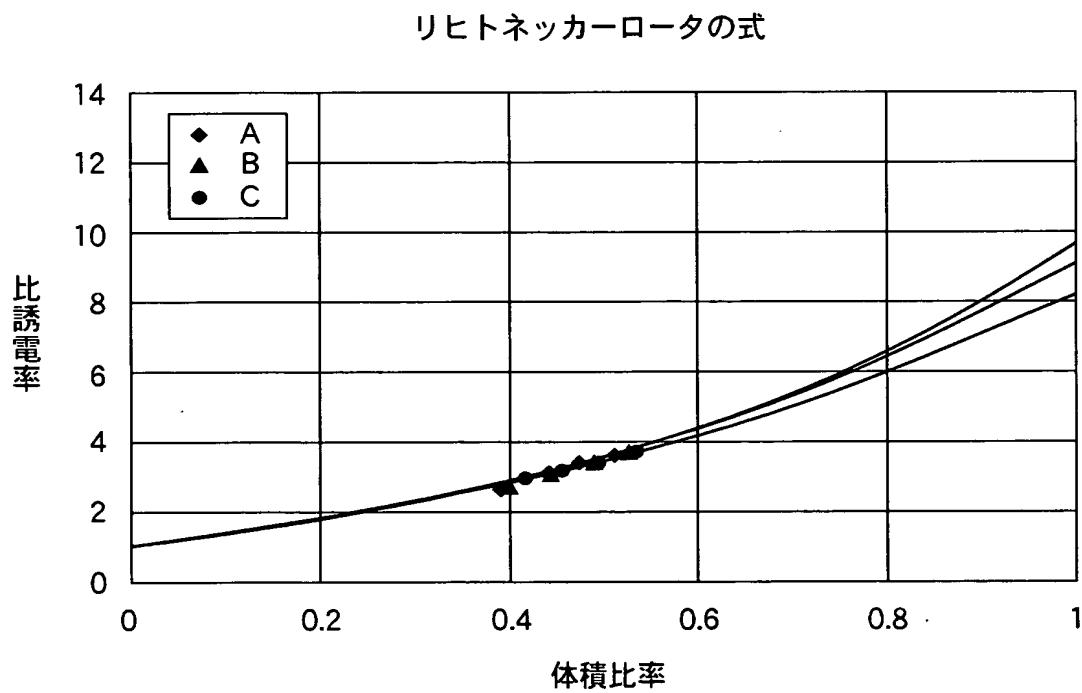
対数混合則



【図 1 2】

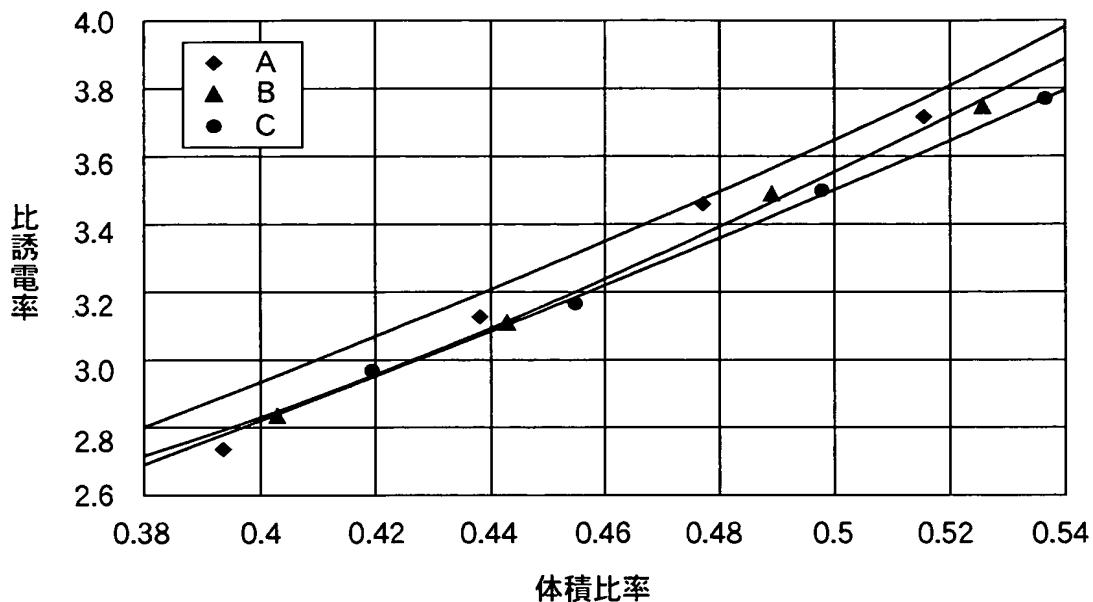


【図 1 3】



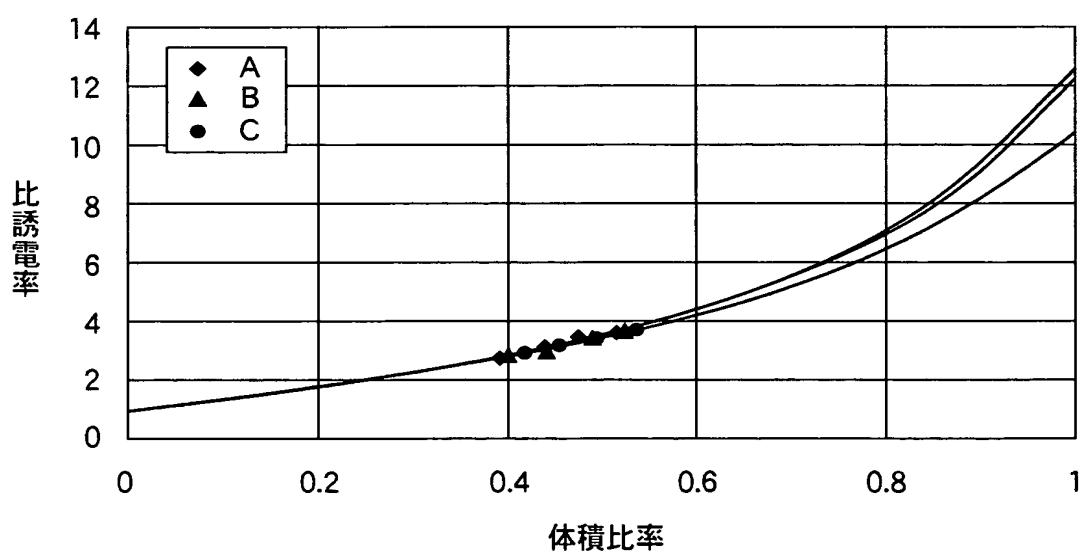
【図14】

リヒトネッカーロータの式

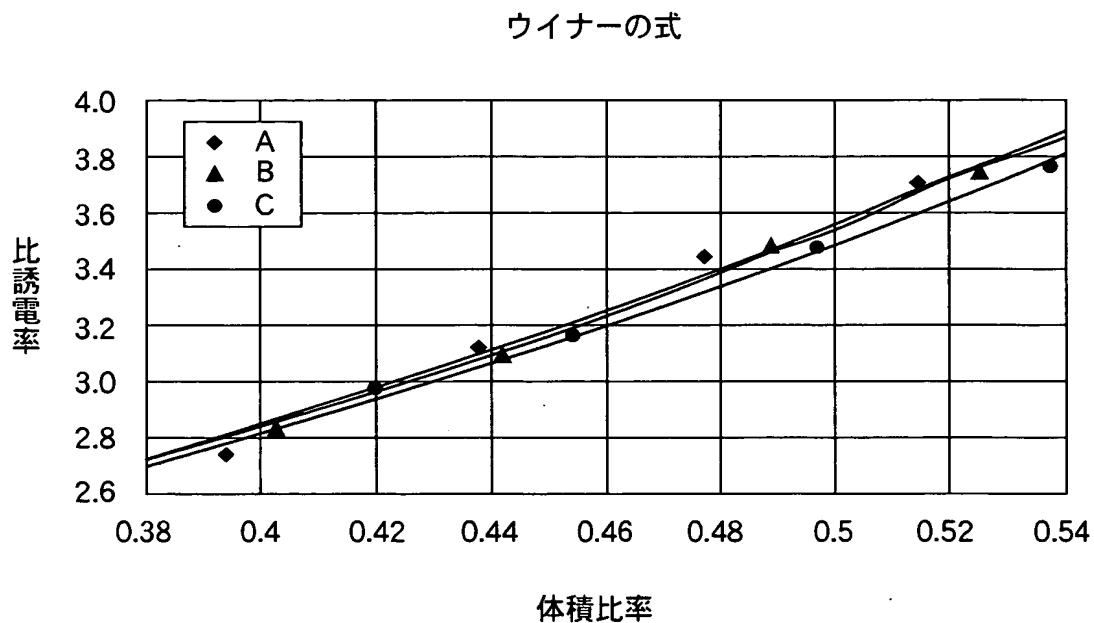


【図15】

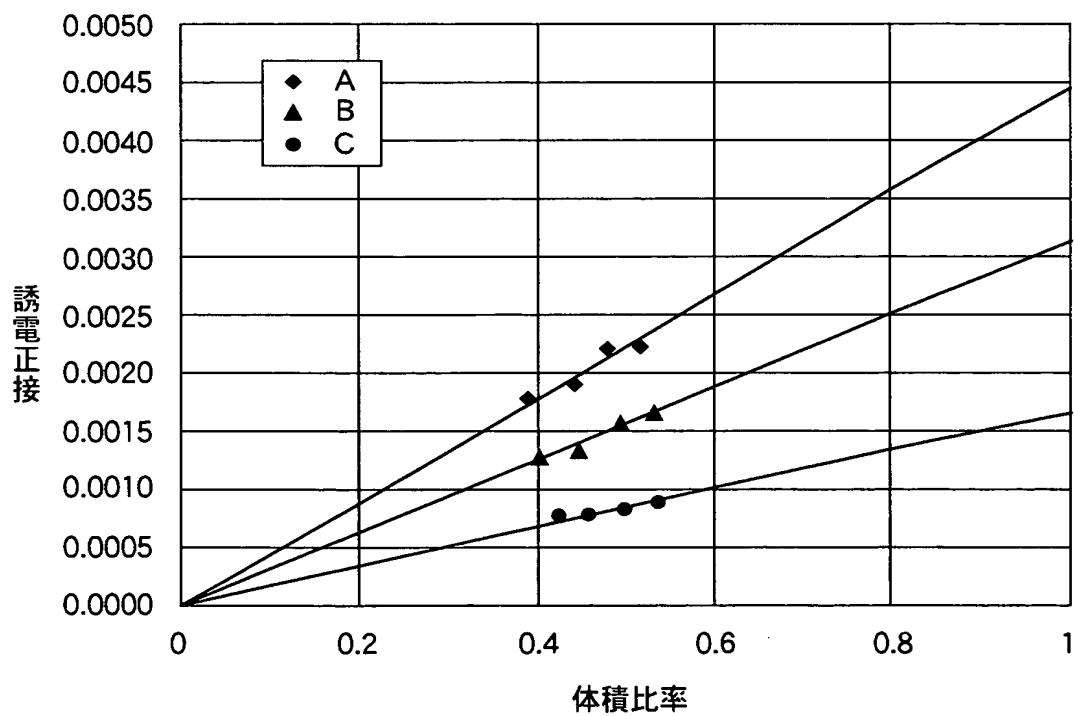
ウイナーの式



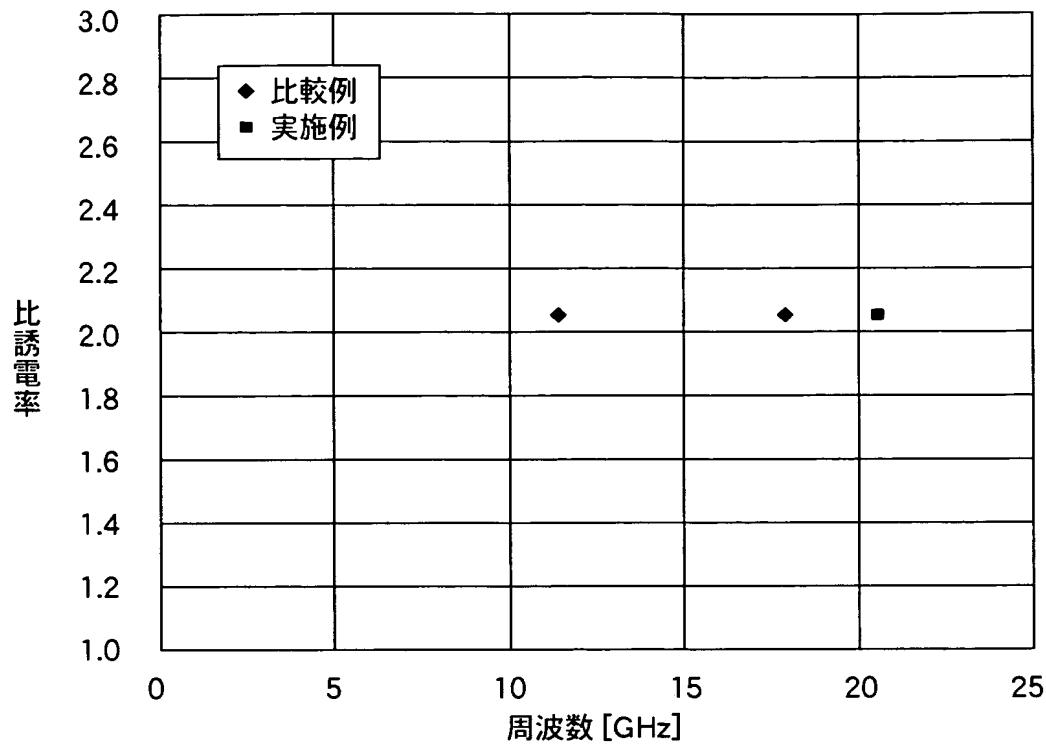
【図16】



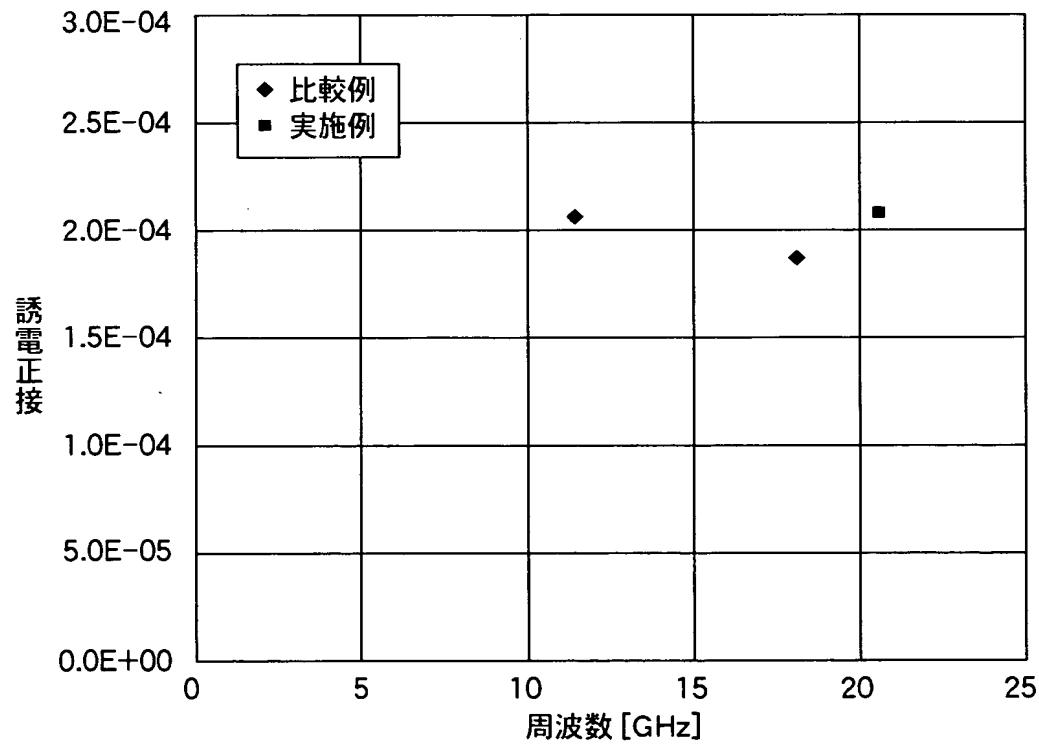
【図17】



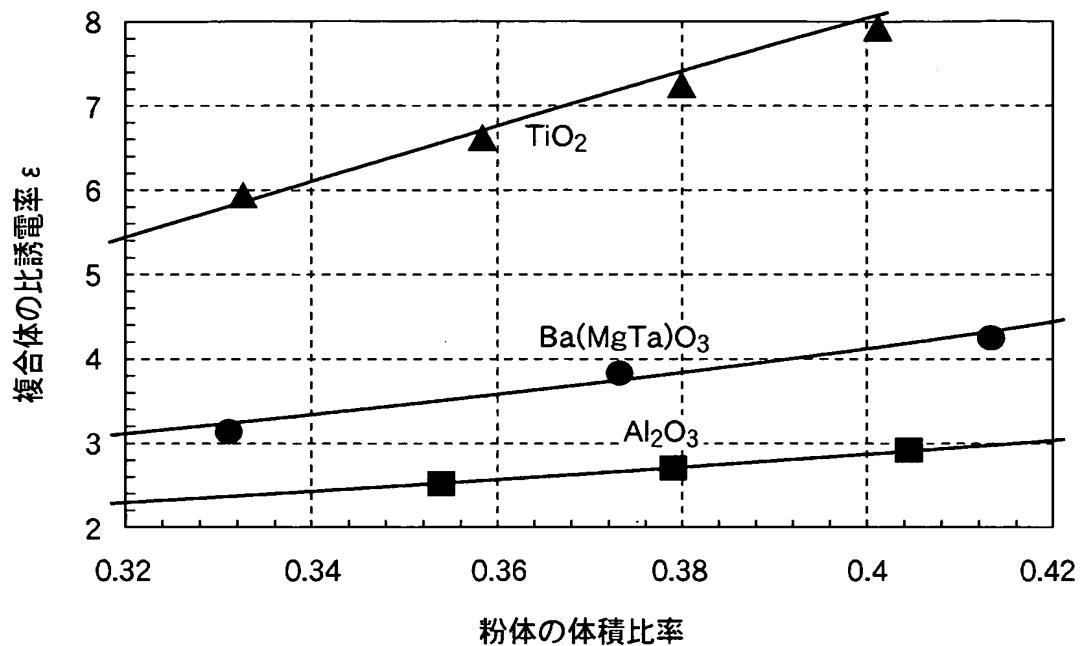
【図18】



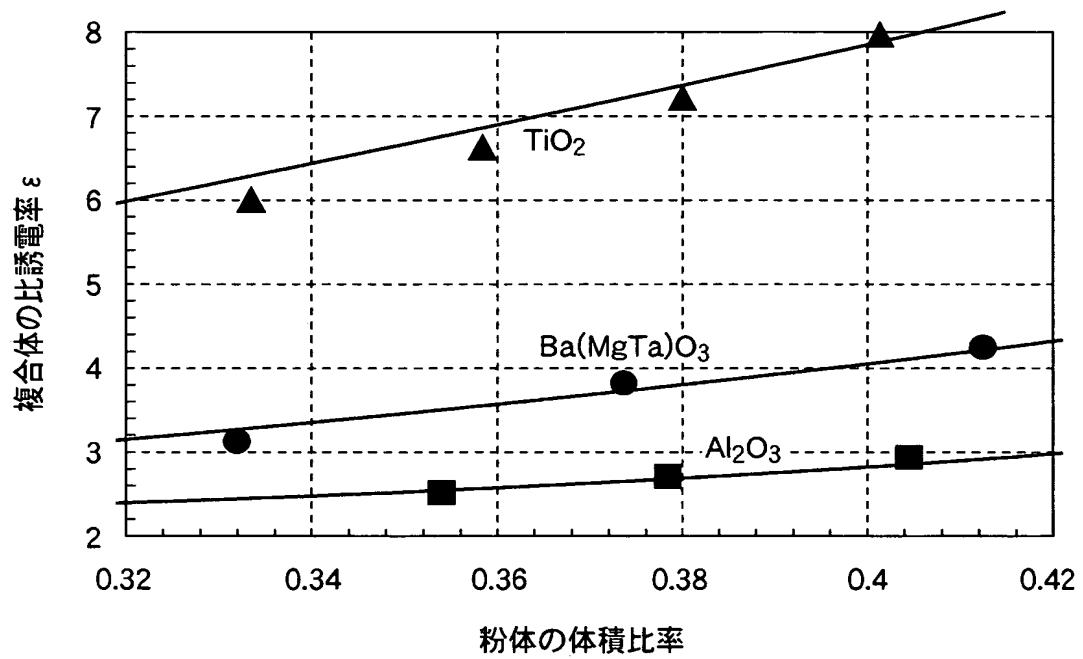
【図19】



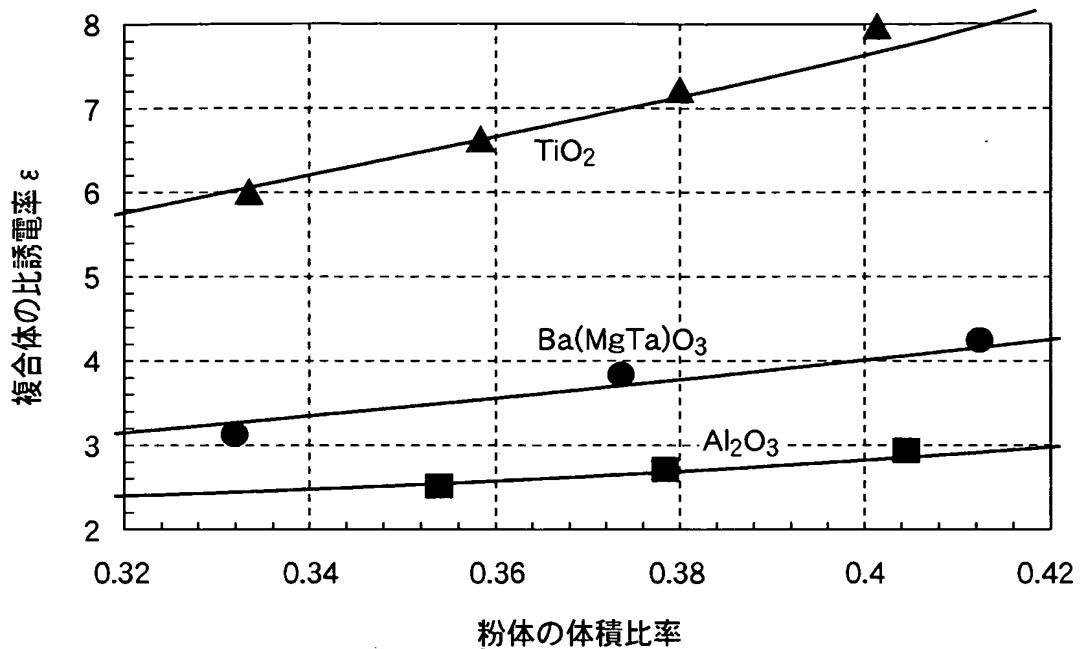
【図20】



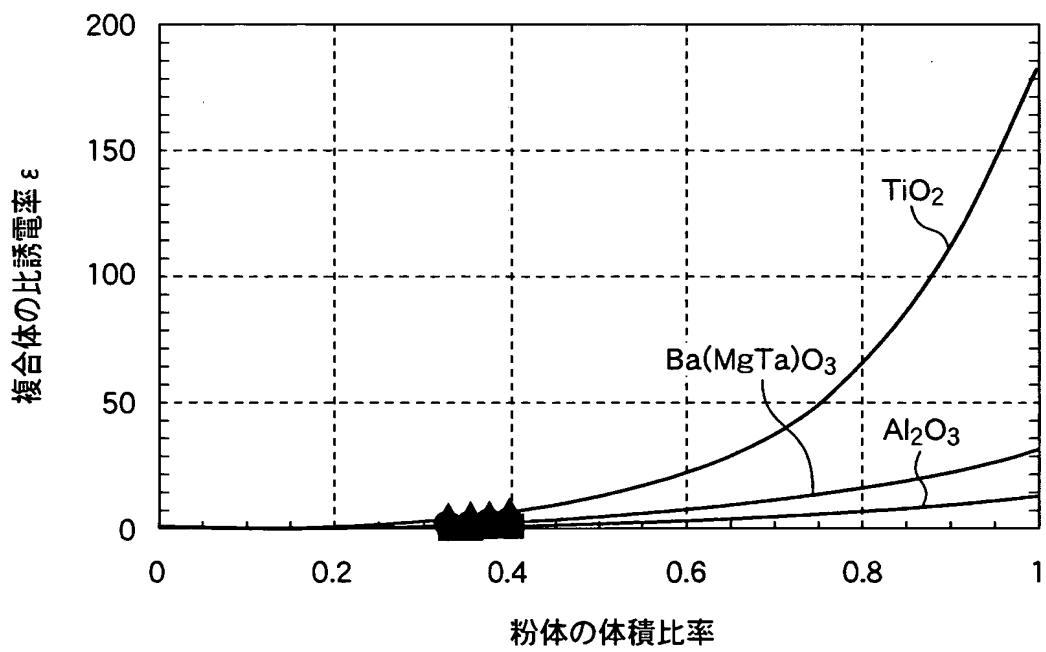
【図21】



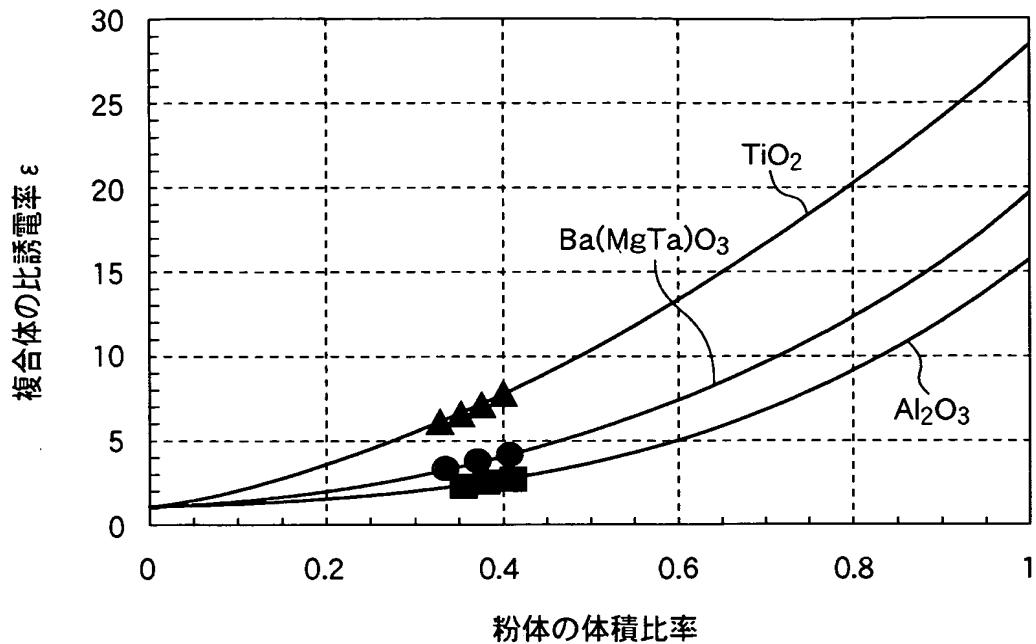
【図22】



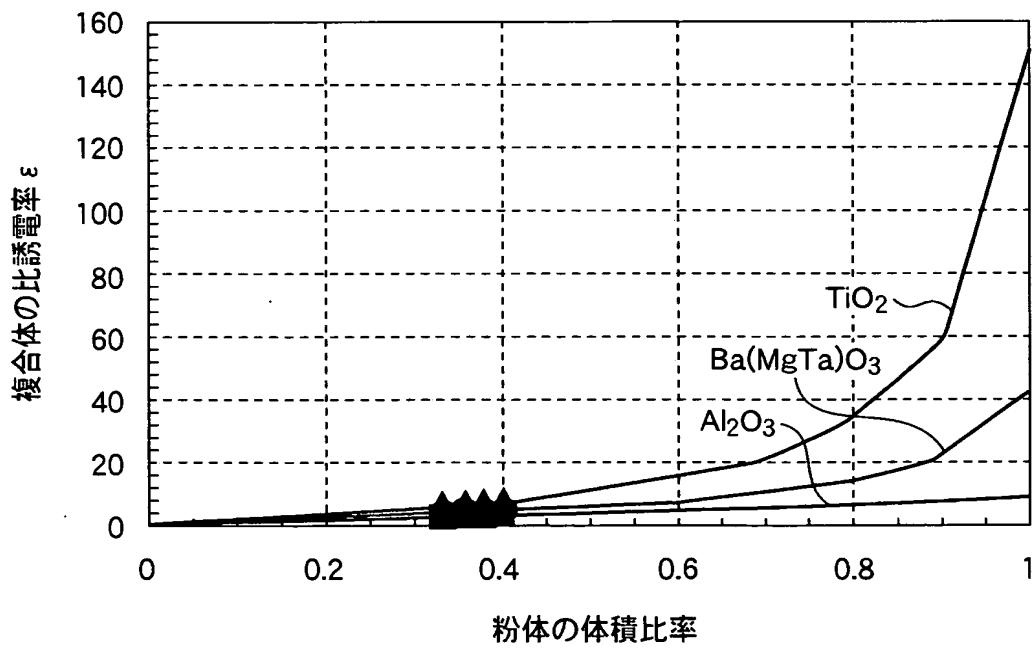
【図23】



【図24】



【図25】



【図26】

種類	焼結品の比誘電率	測定値
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	14.1
Ba(MgTa)O <sub>3</sub>	24	33.9
TiO <sub>2</sub>	104	185.8

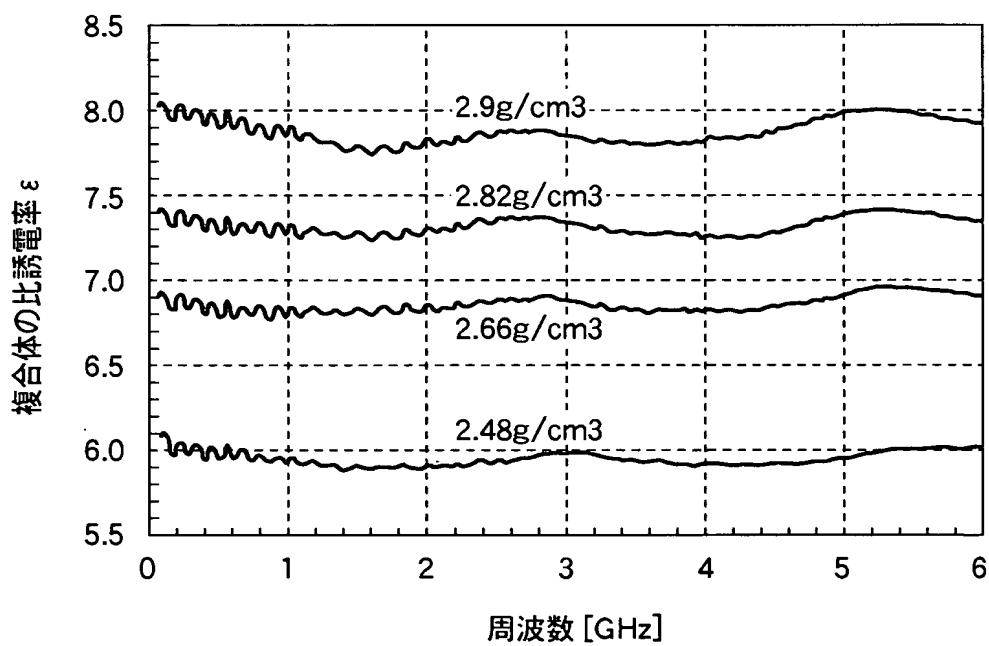
【図27】

種類	焼結品の比誘電率	測定値
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	15.7
Ba(MgTa)O <sub>3</sub>	24	19.4
TiO <sub>2</sub>	104	28.2

【図28】

種類	焼結品の比誘電率	測定値
$\text{Al}_2\text{O}_3$	11	8.75
$\text{Ba}(\text{MgTa})\text{O}_3$	24	42.7
$\text{TiO}_2$	104	152.3

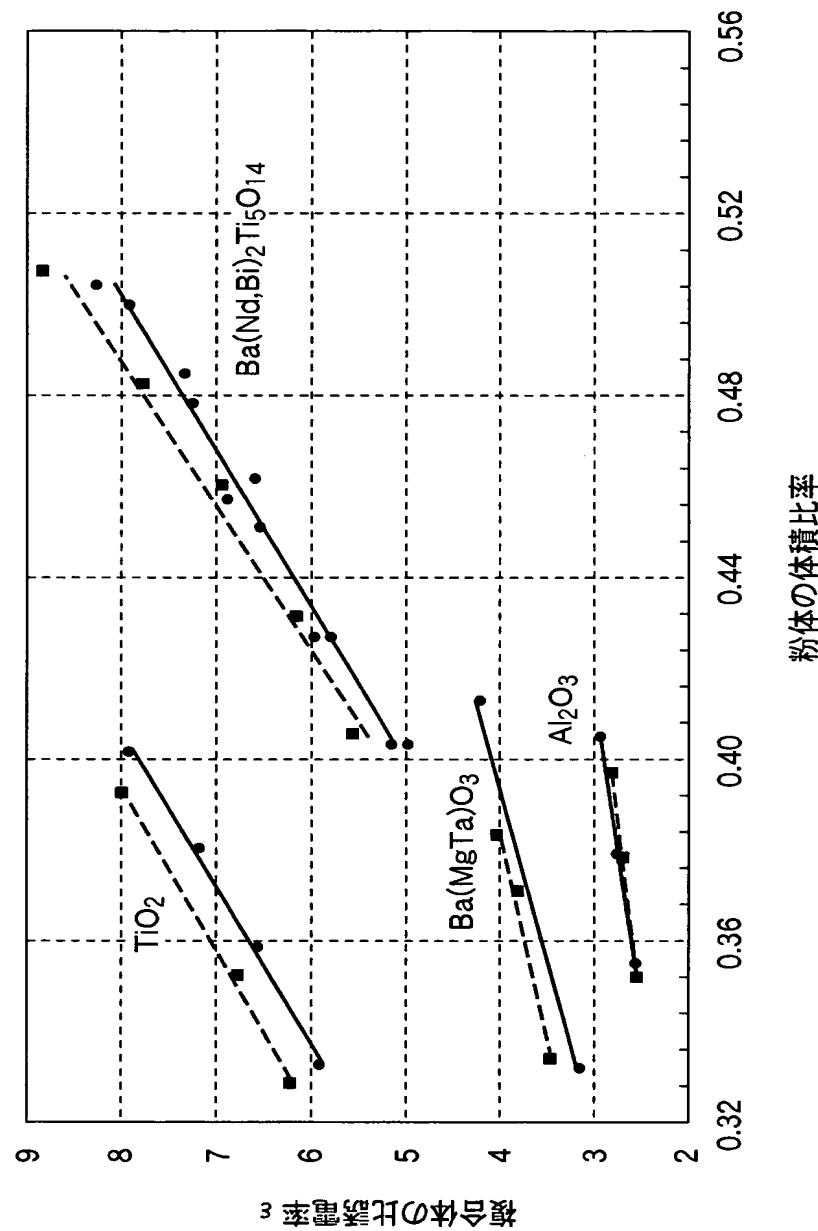
【図29】



【図 30】

種類	焼結品の比誘電率	粉体の体積比が0.38のときの 混合体の比誘電率
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	2.7
Ba(MgTa)O <sub>3</sub>	24	3.8
TiO <sub>2</sub>	104	7.3

【図31】



(●) 【書類名】要約書

【要約】

【課題】 誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる誘電体の複素誘電率の測定方法を提供することである。

【解決手段】 誘電体および気体が封入された共振器4に、電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器4から出力された電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅をネットワークアライザ16で測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から誘電体の複素誘電率を算出する。

【選択図】 図2

特願 2004-059742

## 出願人履歴情報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 2003年 6月27日

[変更理由] 名称変更

住 所 東京都中央区日本橋1丁目1-3番1号  
氏 名 TDK株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**